الوقاية في الشبكات الكهربية

تأليف

ا. د. محمد محمد حامد

كلية الهندسة – بور سعيد

العام ٢٠٠٠

محتويات الكتاب

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة

انطلاقا من الواجب الوطني نحو المساهمة في إحياء المكتبة العربية كضرورة لتقدم الأمة علي النطاق الهندسي توجهت نحو تأليف هذا الكتيب من أجل خدمة أبناء الوطن العربي وخصوصا الطلاب منهم في واحد من أهم المجالات الهندسية تقدما ، فالكتاب يتعامل مع تقنيات المبادئ الأساسية بشكل مبسط عن موضوع الوقاية في الشبكات الكهربائية وهو بذلك يسهم بشكل كبير في رفع مستوى القارئ الذي لا يعلم عن الموضوع إلي مستوى تقني عالي يستطيع معه التعامل مع أعقد الدوائر في ميدان الوقاية في الشبكات القومية بشكل عام .

يصلح هذا الكتيب لكل من مهندسي الكهرباء الراغبين في تخصص الوقاية وكذلك يكون معينا لمهندسي تشغيل المحطات الكهربائية محولات أو توليد وهو مفيدا للطلاب في كليات الهندسة والتكنولوجيا والمعاهد الهندسية العليا ويمثل دليلا وافيا لطلاب المدارس الفنية المتقدمة والصناعية ويهديهم إلي الطريق السليم في الاطلاع علي باقي المراجع والكتب في هذا التخصص ، وهذا الكتاب بما يحتويه من مفهوم هندسي ما هو إلا دليلا مؤكدا علي قدرة الله سبحانه وتعالى وأن القدرة الإلهية تفوق كل تصور وقد ذكر الله سبحانه في كتابه الكريم

بسم الله الرحمن الرحيم

{{{ ولقد تركناها ءاية فهل من مدكر }}}

صدق الله العظيم

المؤلف

الشبكات الكهربائية

ELECTRIC NETWORKS

تعتبر الشبكة الكهربائية خلية حيوية مثل جسم الإنسان فهي خلية نشطة متحركة بصورة ديناميكية وتعمل علي كافة المحاور وبثبات درجة حرارة وقوة الضغط وغيرهما من المعاملات الطبية اللازمة لتحديد ما إذا كان الجسم سليما أم لا ، وهكذا أيضا تكون تلك الخلية الحيوية المتمثلة في الشبكة الكهربائية عاملة بطريقة سليمة تبعا للمعاملات الطبية الهندسية في هذه الحالة . وكما يسيطر علي الجسم الآدمي الجهاز العصبي (المخ والأعصاب) تحتاج تلك الخلية إلي جهاز عصبي يسيطر علي كل المعاملات الصحيحة للتشغيل وهو ما يعرف باسم أجهزة الوقاية في الشبكات الكهربائية ، وهذا الجهاز يقوم بعزل المناطق المريضة فيها ويعطي من التحاليل والبيانات وهو ما يعادل الأشعة والتحاليل الطبية لتحديد مكان الألم (الخطأ) أو علاج العيب مباشرة سواء بالعلاج المباشر جراحيا (تغيير معدة) أو بالإصلاح البسيط (الصيانة) عند اللزوم . ومن هنا نري أن العمل الوقائي أهم من العلاج وهي العبارة الشهيرة في مجال الطب وهو ما يجب الأخذ به عند تصميم الشبكات وأثناء أدائها للعمل المنوط به .

مثل ما تعرضنا للتشبيه بالإنسان فنزيد من تواجد المكونات المختلفة داخل الشبكة لتعطي نفس النمط البشري في الجهاز فنجد مضخة القلب ترسل الدم إلي كافة أطراف الجسم وبالمثل تقوم محطات التوليد بضخ الكهرباء (مثل الدم) إلي جميع أطراف الشبكة حيث المستهلك ، وكما تنقل الأوردة والشرايين الدم فنجد الحاجة لوجود خطوط نقل الطاقة الكهربائية من حيث مكان الضخ إلي أطراف الاستهلاك . ولا يفوتنا هنا أننا قد نحتاج تحولات قدرة لرفع الضغط ليكون النقل اقتصاديا بجانب الناحية الفنية لأسس النقل الكهربائي وبالتالي خفضه مرة أخري إلي الحد المطلوب عند الاستهلاك ، وكل هذه العمليات تتم تحت رعاية الجهاز العصبي وهو هنا أجهزة الوقاية .

مع الفارق الكبير بين طبيعة الجسم البشري والشبكة الكهربائية نجد ضرورة هامة لتوافر بعض الضمانات الأساسية مثل الأمان والتكلفة في جميع مراحل الشبكة الكهربائية بدءا من الإنتاج فالنقل ثم التوزيع فالاستهلاك والاستغلال ومن ثم نحتاج إلي مزيد من التفصيل لفهم ماهية الأجهزة الوقائية في الشبكات عموما ثم ننتقل إلي الجزئيات الفرعية ذات التخصص الأكثر دقة وهو ما سوف نتبعه في الأجزاء والفصول التالية من هذا الكتيب .

كما نجد حدودا فاصلة بين التحكم في الجسم والكشف عن العيوب وتحديدها بينما تعمل في عملنا اليومي المعتاد فنري أن هذا أيضا ينطبق علي الشبكة الكهربائية حيث يلزم التحكم في بعض المعاملات سواء كان يدويا أو آليا سواء كان أيضا عن قرب أو من بعد بينما نجد وسائل الوقاية هي المسئولة عن كشف العيوب والأخطار والتخلص منها بصفة تلقائية وإعطاء الإشارة المناسبة لكل حالة كنوع متقدم من التحليل والبيانات والتي تماثل الأشعة والتحاليل الطبية للإنسان .

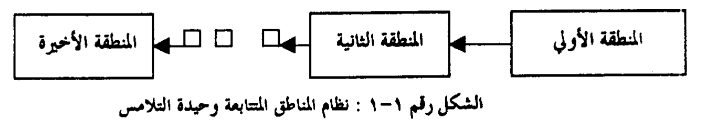
١ - ١ : تقسيم المناطق بالشبكات DIVISION OF NETWORKS

عند التعرض إلي الشبكات الكهربائية الضخمة نحتاج إلي التعامل معها في أجزاء ثم مع المجمل مع مراعاة الدقة عند التعرض للأجزاء هذه وبذلك تظهر الحاجة إلي تقسيمها إلي مناطق بسياق محدد ومنها النظم التالية :

أولا : مناطق متتابعة Sequential Zones

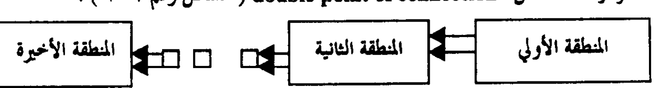
وتتنوع هذه المناطق من حيث الربط فيما بينها كهربيا ويكون هذا علي النحو الآتي :

١- وحيدة التلامس **single connection** وهي موضحة في الشكل رقم ١-١ .



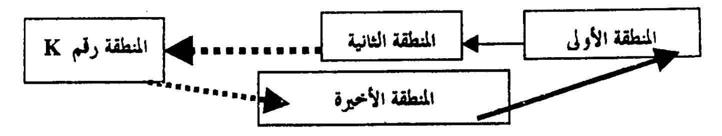
الشكل رقم ١-١ : نظام المناطق المتتابعة وحيدة التلامس

٢- مزدوجة التلامس **double point of connection** (الشكل رقم ١-٢) .



الشكل رقم ١-٢ : نظام المناطق المتتابعة مزدوجة التلامس

٣- متعددة نقاط التلامس **multi point of connection** وهي مثيلة لتلك الواردة في الشكل رقم ١-٢ مع العديد من نقاط التغذية بين المناطق .

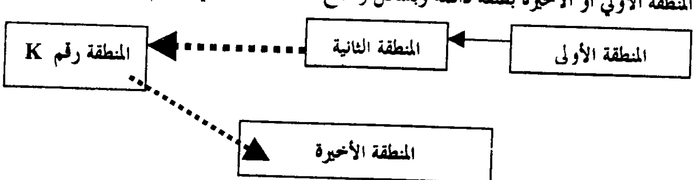


الشكل رقم ١-٣ : نظام المناطق الحلقية المغلقة

ثانيا : مناطق حلقية Ringed Zones

١- مغلقة closed type وهي كما نراها في الشكل رقم ١-٣ حيث نجد الترابط متتالي ومنتهيا عند المنطقة الأولي بحيث لا يمكننا تحديد أي منهم الأولي بصفة دائمة .

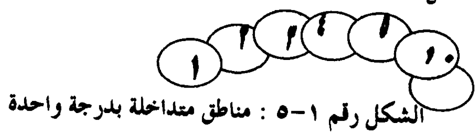
٢- مفتوحة opened type وهي مثل السابقة ولكن لا تنتهي المنطقة الأخيرة عند الأولي بل يتحدد معها المنطقة الأولي أو الأخيرة بصفة دائمة وبشكل واضح بخلاف ما كان في النظام السابق (الشكل رقم ١-٤) .



الشكل رقم ١-٤ : نظام المناطق الحلقية المفتوحة

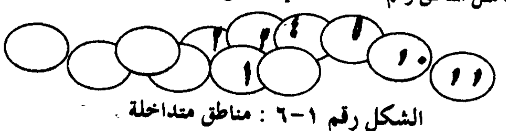
ثالثا : مناطق متداخلة Interfered Zones

١- درجة واحدة من التداخل single degree of interference (الشكل رقم ١-٥) .



الشكل رقم ١-٥ : مناطق متداخلة بدرجة واحدة

٢- عديدة التداخل multi degree of interference (الشكل رقم ١-٦) . ومن هذا الشكل نجد أن هذا التداخل قد يأخذ أشكالا عدة فقد يكون بلا تداخل (مثل المناطق ١٠ ، ١١ أو تلك في اليسار بالشكل مثلا) في بعض الأماكن وقد يكون بدرجة واحدة فقط (مثل المناطق رقم ٥ ، ١٠ - أو بأكثر من درجة مثل المناطق رقم ١ ، ٢ ، ٣ في الشكل .



الشكل رقم ١-٦ : مناطق متداخلة .

١-٢ : مراكز التحكم DISPATCHING CENTERS

يمكن الاعتماد علي مركز التحكم كجهة محددة ومسئولة عن الأداء وتحليل البيانات ومركزا لاتخاذ القرار مما يضعها علي قمة المواقع الإدارية داخل الشبكة ككل ويمكن تنويع هذه المراكز علي النحو التالي

أولا : مركز وحيد Central Type

وهو مركز وحيد يسيطر علي كافة الأمور الفنية والصيانة وجدولة التحميل وكل ما يخص الشبكة في كل أجزائها ، غير أن مثل هذا العمل يحتوي الكثير من الأعمال إذا ما أصبحت الشبكة ضخمة مثل ما توجد في الشبكة القومية الموحدة بمصر أو الشبكة الموحدة في أوروبا وغيرهما ولذلك يكون من الصعب إتباع هذا النظام فيها . وتصلح هذه النظم في الشبكات الصغيرة وذات الجهود القليلة بحيث يسهل علي المركز هذا التحكم فعلا في كافة الأعمال في الزمن القصير المطلوب لها .

ثانيا : مراكز متعددة المناطق Independent Zones Type

نحتاج إلي هذا الأسلوب عندما يضيق وقت المتابعة والتنفيذ علي المركز الوحيد خصوصا وأنه أفضل الأنواع عندما يسمح له وقت الأداء بذلك ولذلك يكون البديل هو نظام توزيع المسئولية أو بالمعني الأصح تقليل عبء العمل عليها بتوزيع الأدوار فيما بين هذه المناطق التي يتم تحديدها مسبقا وهذه بدورها تنفرد في محورين هما :

المحور الأول : مراكز متعددة مستقلة للمناطق Independent Zones Type

حيث تستقل كل منطقة بعيدا عن غيرها ولا يحدث أي تداخل بينها سواء من جهة الاختصاص أو التعامل الفني والهندسي لها ويمكننا وضع نوعين منها هما :

النوع الأول : مراكز جهد Voltage Dispatching Centers

كما يمكن تقسيم هذه المراكز تبعا للجهود خصوصا وأنه من الناحية الفنية تتنوع الشبكات بهذه الصفة وبشكل رسمي وواضح ولكل منها المواصفات المحددة لها فتصبح هذه المراكز كما يلي :

١- مركز تحكم للشبكات الرئيسية Main networks Type

وتختص هذه المراكز بالجهد الأقصي في الشبكة ككل من أطرافها إلي أقصاها دون أية اعتبارات فنية كانت أو إدارية مثل الجهد ٥٠٠ – ٢٢٠ ك. ف. في مصر ويصبح عبء توصيل الطاقة من مراكزها إلي لشبكات الأقل جهدا علي عاتقها .

٢- مركز لشبكات الجهد العالي For HV network

وتتبني هذه المراكز الخطوط ومحطات المحولات التي تعمل علي هذا الجهد مثل ٢٢٠ – ١٣٢ – ٦٦ ك. ف. في مصر مثلا وحتي أطراف الجهد التالي وهو جهد التوزيع والذي عادة يصل إلي ١١ أو ٢٢ ك. ف.

٣- مركز للجهد المنخفض For Distribution Network

وهي مراكز توزيع الطاقة علي المشتركين والمصانع والجهات الواقعة في دائرة الاختصاص وتعمل علي الجهد ١١ أو ٢٢ ك. ف. وتصل به حتى الجهد ٣٨٠ / ٢٢٠ فولت وبعض الأحيان إلي الجهد ١١٠ فولت ، كما تنقسم هذه المراكز إلي نوعيات مختلفة تعتمد علي نوعين في أغلب الأحيان كما يلي :

النوع الثاني : مراكز مساحية Zone Centers

تقوم عمليات التقسيم عموما علي فلسفة هندسية مؤكدة ومنها تلك الصفة التي تتعلق بالمنطقة المساحية للشبكة وفي ذات الوقت بما يخضع للمواصفات الفنية الهامة والأساسية كي يكون التقسيم ملائما ، وتلك المساحية تتنوع تبعا لطرازين كما يلي :

١- مراكز للمناطق الفنية Technical Zone Centers

تنقسم المناطق بأسلوب الجهد أو نقاط التوصيل فيما بينها كي تمنع التداخل فيما بينها ويتبع ذلك نقاط التوصيل المختلفة لتكون المحك بينها ويكون التلاقي والاتفاق واضحا خصوصا إذا ما كانت مستقلة كشركات مستقلة الإدارة أو الشخصية الاعتبارية فيجعل التعامل بينهم واضحا دون لبس .

٢- مراكز للمناطق الإدارية Administrative Zone Centers

هذا التقسيم يعتمد علي سهولة العمل الإداري لما يشكله من عائق عند تداخل الاختصاصات ومن أهما المناطق الحدودية بين الشبكات المتجاورة والمتصلة معا في شبكة موحدة ولذلك نجد منهجين للتوصل إلي ذلك كما يلي:

(أ) التقسيم الإداري للعمل داخل الشركات

تعمل هذه المراكز علي الجزء من الشبكة داخل النطاق الإداري داخل الشركات المستقلة معا والتي تتجاور من جهة التوصيل الكهربي ويمكن أن يسحب هذا الكلام والمنهج أيضا علي الشبكات القومية المرتبطة سويا وتكون مسئولة عن العمل في هذا الحيز والذي يتميز بالسهولة لأنه يتبع جهة واحدة دون غيرها ، وبالتالي يتم العمل دون عائق أو مشكلات قد تكون بعيدة تماما عن عمل مركز التحكم .

(ب) التقسيم الإقليمي داخل الدولة

في بعض الحالات يكون النظام الإداري لكل الشركات أو الهيئات العاملة بالدولة تابعا للتقسيم الإقليمي مثل المحافظات في مصر وبهذا يسهل التعامل مع الأجزاء إذا ما خضعت لذات التقسيم العام للهيكل الوظيفي والفني بها ، وبهذا يكون هذا النظام الأكثر ملاءمة عن غيرة لما ينتج عنه من بساطة في تحديد الاختصاصات وسهولة وسرعة في الأداء حيث أن هذه المراكز عليها عبء التنفيذ الفوري دون أي تأخير وإلا قلت قيمة الاعتمادية بالشبكة وهو ما ينقص من المستوي الفني لهذه المراكز .

المحور الثاني : مراكز متعددة مختلطة Mixed Multi Zones

عندما تتداخل الشبكات بكل أنواع التقسيم السابق الإشارة إليها يصبح العمل صعبا بأي من النظم المذكورة لمراكز التحكم وبالتالي يكون علينا التوجه إلي ازدواجية العمل المنهجي وبالتالي نتبع التقسيم بأي من الطرق المشار إليها بجانب ذلك النوع المركزي والذي يكون منسقا لهم ويقع عليه عبء نقاط التداخل فيما بينهم بجانب عمله كما لو كان يخص الشبكات الرئيسية كي يضمن سلامة أداء الشبكة ككل وهذه المراكز تصلح في الشبكات الضخمة وكذلك في حالات الربط الكهربي بين الشبكات القومية المختلفة مثل الشبكة الكهربية العربية الموحدة الوليدة ومثل الشبكة الأوروبية الموحدة وتلك في شمال آسيا ، وهي أيضا التي تعريف باسم مراكز متعددة للمناطق غير مستقلة مع مركز مركزي Central / multi Zones Type .

ومع الربط الكهربي الحالي بين الدول المتجاورة يكون من الهام إنشاء مركز تحكم للربط بينهم ويكون مسئولا عن فرعين هما :

الأول : الأداء الفني وتبادل الطاقة Technical Performance

يقوم هذا المركز بعمليات التوصيل والفصل المطلوبة تلبية للطاقة المطلوبة من الجهات المختلفة مع تأمين سريان الطاقة أثناء ذلك وهو عمل هندسي بحت لا يرتبط بغيرها من الأعمال الاقتصادية .

الثاني : المراجعة المالية لتبادل الطاقة وتكلفة نقلها من جهة إلي أخري Financial Revision

ويقع تحت طائلة هذا الوضع كل الشركات الخاصة بإنتاج وتوزيع الطاقة داخل جمهورية مصر العربية بعد الانتهاء من الخصخصة لها وهنا تظهر أيضا نقطتين أساسيتين هما :

أولا : تبادل الطاقة وحيد الاتصال Single point of transfer

حيث تكون الحاجة إلي مركز وحيد إما علي شكل سوق اقتصادية للطاقة أو علي نمط المحاسبة المتبادلة ورقيا وعندما تكون هناك نقطة وحيدة للربط يكون من السهل القيام بهذا العمل من خلال مركز وحيد .

ثانيا : تبادل الطاقة متعدد الاتصال multi point transfer

عندما تتزايد نقاط الربط في الشبكة سواء كانت هذه النقاط بين الدولتين المتجاورتين ذاتهما مثل مصر والأردن فقط أو بين مجموعة من الدول معا في وقت واحد مثل الربط الثلاثي العربي بين مصر والأردن وليبيا أو كما هو الحال في الشبكة الأوروبية الموحدة ، وهذا يحتاج إلي التنسيق بين النقاط المختلفة للمحاسبة النهائية لتكون مرة

واحدة وبالصافي المستحق مباشرة وهنا تظهر أهمية عوامل الاتصالات وشبكة الإنترنت وغيرهم من الوسائل المستحدثة حتى تحصل علي خلاصة المستحقات المالية مباشرة .

١-٣ : نظم الحماية PROTECTION SYSTEMS

تعتمد نظم الحماية علي العديد من القواعد والعوامل لأنها تنشد حماية كلا من الإنسان سواء المتعامل مع الشبكة بصفة الحرفة والمهنة أو ذلك العابر بالصدفة من خلال أو داخل هذه الشبكات حاملة الجهد الخطر علي حياة البشرية في حالات الخطأ ، ولهذا ندخل هذا المجال بمقدمة بسيطة وصولا إلي الغرض الهام من التقنيات المختلفة في هذا الميدان وكي نتفهم المرور المرحلي لتطور هذه الصناعة الجوهرية والتي لا غني عنها عند التعامل مع الشبكات الكهربائية بشكل عام .

هكذا كان من الواجب أن نتجه مباشرة لبعض الحدود الأساسية في التعامل مع وسائل الوقاية وماهيتها وكيفية استخدامها في الشبكات الكهربائية من أجل تحسين مستوي الأداء ومعدلات التميز في شبكة عن غيرها ، وتزداد أهمية هذا الموضوع مع الحركة الدولية نحو الربط بين الشبكات القومية وهو ما يتيح لنا إلقاء الضوء علي المعايير الملازمة له ومدي التغير الذي سيصاحب هذه التغيرات الدولية وشبكاتها الكهربائية . ومن هنا يلزم وضع بعضا من الأنواع الهامة لمعني الحماية بشكلها العام والخاص لندرك كنه أساليب الوقاية في الشبكات .

(أ) حماية شاملة OVERALL PROTECTION

تخضع الحماية الشاملة للتصنيف التالي :

أولا : أخطاء هندسية وفنية

تتباين هذه الأخطار الناتجة عن العمل الهندسي أو الفني إلي عدد من الأنواع نوردها في :

– الحرائق – التسرب الإشعاعي – تواجد الغازات الضارة – الخروج عن مدي التحمل الفعلي للمعدة – العيوب المواكبة للأخطاء في التصميم

ثانيا : أخطاء بشرية

من حيث أن التعامل في الشبكات يعتمد علي إما الإنسان أو المعدات فتقع مسئولية الأخطاء في ناحية الإنسان في بعض المحاور وهي التي تتفرع هذه الأخطاء لتوضع من خلال نوعين جوهريين هما :

١– مسئولية إدارية

هذا النوع يشمل العديد من الأساسيات التنظيمية في العمل وكيفية التعامل مع حالات الطوارئ أو الصيانة أو التشغيل وذلك من خلال عددا من الأسس الجوهرية والتي تتمثل في : التدريب المستمر – الالتزام بقواعد الأمن الصناعي – ضرورة الإشراف المباشر – المتابعة الدائمة سواء للعاملين أو للمعدات والمحطات .

٢– أخطار ميدانية

تأتي الأخطار في الموقع بشكل مفاجئ غالبا وهو ما يحتاج إلي التنظيم المسبق في العمل ولذلك نجد أن هذه النوعية من الأخطار تحتاج إلي المزيد من المساعدات فمنها :

– أجهزة الإنذار السمعية والصوتية – خلق مسارات لتسرب التيار – عزل المواد المشتعلة عن الهواء – منع التشغيل الخاطئ – التأريض قبل إجراء أية أعمال ميدانية – الحماية الميكانيكية – التشغيل عن بعد .

ثالثا : أخطار طبيعية

تتمثل هذه الأخطار من الكوارث الطبيعية أو حتى تلك المخاطر التي تتبع التعامل مع المعدات والمحطات وتوضع المعايير الهندسية لهذا النوع في عدد من النقاط المحددة علي الوجه الآتي :

١– الزلازل فيلزم إتباع كود الزلازل عند التصميم

٢– الرياح والعواصف وتؤخذ في الاعتبار عند التصميم سواء في المحطات أو الخطوط الهوائية وما يلزمها من ووضع نقاط تثبيت للعوازل أو مثقلات وزن لخفض الذبذب كما هو الحال في الخطوط الهوائية

٣– الصواعق ويتم تركيب مانعات الصواعق علي القضبان والخطوط الهوائية والملفات لتلك المعدات والمهمات في الشبكة مثل المولدات والمحولات وغيرهم .

(ب): حماية إدارية ADMINSTATIVE PROTECTION

تحتاج الأعمال الإدارية إلي نوع خاص من التعامل الجاد والصارم والأخذ بتعليمات الأمن الصناعي والسلام المهنية دون أي تراجع أو إهمال وخصوصا تلك النقاط التالية :

١– منع دخول الأفراد إلي الموقع

٢– التصريح لأفراد مدربين محددين

٣– عدم إعادة التوصيل إلا بعد التأكد من خروج الجميع من العمل

٤ – التأكد من الموقع ذاته

٥– تحديد وتسوير المكان مع إتباع تعليمات الأمن الصناعي بكل دقة

٦– الإشراف المباشر

٧– التأكد من عدم وجود خطورة

٨– المراجعة بعد الإشراف

٩– التدريب المستمر عل التقنيات المستحدثة

١٠– التدريب المتخصص

(ج) حماية فنية TECHNICAL PROTECTION

يتضمن الضرر في نوعين :

أولا : أضرار ناجمة عن زيادة التيار الكهربي **current**

وهذه النوعية تتسبب في ضرر يتفرع إلي :

١- طاقة حرارية **heat energy** فوق المعدلات (سخونة)

وهذه تتسبب في أحد الحالتين :

(أ) قطع الأسلاك والموصلات

(ب) حرق العزل تدريجيا وتخميره إلي حد فقدان الخواص الكهربية له

٢- طاقة ميكانيكية **mechanical energy** تتسبب في كسر المكونات الداخلة في الشبكة وخصوصا أجزاء التثبيت للمعدات والأجهزة التي تتعرض لمثل هذا الضرر .

ثانيا : أضرار ناجمة عن الجهد الكهربي **voltage**

وهي تتسبب في :

١- فصل كهربي مؤقت **emergency interruption** لعيب قد يكون طفيف كما هو الحال في الكابلات الكهربية عند زيادة الأحمال لها أو نقاط الضعف في العزل في مكان بالعزل

٢- كسر كهربي **electric breaking** وفصل دائم للطاقة الكهربية من الشبكة إلي أن تتم أعمال الصيانة المطلوبة .

١-٤ :مبادئ الوقاية الآلية PROTECTION BASICS

تتنوع نظم الوقاية فيا الشبكات إلي نوعين هما :

الأول : الوقاية الأساسية ***Main Protection***

تعتمد هذه الوقاية علي ثلاث نوعيات

من الدوائر وهي :

الدائرة الأولية ***Primary Circuit*** *(دائرة أ-ب)*

الدائرة الثانوية ***Secondary Circuit*** *(دائرة ٢)*

دائرة الفصل التلقائي ***Tripping Circuit*** *(دائرة ٣)*

ويوضح الشكل رقم ١-٧ الشكل العام لهذه الدوائر

محول تيار
circuit breaker
ب
أ
ملف
الفصل
٢
(٣)
relay coil

الشكل رقم ١-٧ : دوائر الوقاية الأساسية

المتتالية في دائرة وقاية أساسية للفصل عند زيادة التيار في الشبكة الأصلية .

الثاني : الوقاية الاحتياطية **Back Up Protection**

تعتمد هذه النوعية علي احتمال عطل أي من مكونات دائرة الوقاية الأساسية أو مفتاح الفصل للدائرة نفسه **circuit breaker** المنوط به عملية الفصل وهو ما يجعل هذه النوعية هامة لدرجة كبيرة وكلما كانت مستقلة **independent** تماما عن دائرة الوقاية الأساسية كلما كان معامل الاعتمادية **reliability** أفضل . كما أن هذه الوقاية تمثل الوقاية المكتسبة للجسم بينما الوقاية الأساسية تعبر عن المناعة الطبيعية للجسم فتظهر أهميتها لرفع كفاءة نظم الوقاية للشبكة ، كما نضيف أن هذا النوع من الوقاية لا يستخدم في الشبكات والدوائر وحيدة التغذية **unit schemes** مثل شبكات التوزيع حيث لابد من الاعتماد علي أسلوب الفصل متدرج الزمن **time graded** بينما تظهر أهمية الوقاية الاحتياطية مع شبكات الجهد العالي والفائق .
تقوم هذه النوعية علي نظام التأخير الزمني للفصل عن ذلك المحدد للوقاية الأساسية ويجب أن يكون محول التيار **current transformer** منفصلا تماما عن دوائر الوقاية الأساسية بجانب أنه من الأفضل أن يكون هناك مغذي للقدرة بالتيار المستمر **D. C. Supply** بعيدا عن مصدر الطاقة للوقاية الأساسية إلا أن هذا الشرط مكلف للغاية ويمكن التراجع فيه في أغلب الأحيان ، أما محول الجهد **potential Transformer** فيمكن إشراك كلا من النوعيتين فيه ولكن مع استخدام المصهر علي الملفات الثانوية لكل منهما لتكون الدائرتين مستقلتين بقدر الإمكان بشرط أن يكون فصل المصهر مزودا بأسلوب الإنذار عند فصله أو عند حدوث خطأ ما كما يوضع مصهر مستقل علي المتمم المساعد **auxiliary relay** في الدائرة . ونتناول المبادئ العامة في البنود التالية.

أولا : المتممات ***relays***

تعمل المتممات بنظم شتى فمنها ما هو معاصر ويعمل بآليات حديثة ومنها ما قديم منذ أن ظهر التيار الكهربي ولذلك نجد أنها تنضم إلي أجيالا متباينة وهي ما بأسلوب تقسيم مراحل التطور في الوقاية إلي ثلاث أجيال هي :

الجيل الأول : الأجهزة التأثيرية والكهرو مغناطيسية ***Electromagnetic Type***

في هذا الجيل كان الاعتماد علي وسائل القياس التقليدية لتحديد القيمة اللازمة لتحريك أدوات الفصل في دوائر الوقاية وكان زمن هذا الأداء مرتفعا لتواجد الأجزاء الميكانيكية للتعامل الآلي وقد أصبح هذا النوع قديما إلا أنه مازال متواجدا علي الساحة ويعمل بشكل جيد .

الجيل الثاني : المتممات بالدوائر المتكاملة Integrated Circuits

بدأ العمل بهذا النوع مع التقدم العلمي في مجال الدوائر المتكاملة والأجهزة الخبيرة Expert systems وظهورها في المجال الصناعي فتحولت العمليات الآلية والتي تحتاج إلي الزمن الطويل لحركة بعض الأجسام لنقل التأثير الذي يحتاج إلي فصل الدائرة إلي نوع كهربي من خلال الدوائر الكهربائية المتكاملة ، وتداخل هذا النوع مع الموجود في الجيل الأول وحدث التلاحم بينهما ليكمل كلا منهما الآخر .

الجيل الثالث : استخدام الحاسب الآلي بدوائر الوقاية Computerized Type

بعد انتشار الحاسب الآلي بشكل كبير وتطور النظم الخبيرة سواء من خلال البرامج software أو الدوائر الكهربية hardware التي تعمل بها أصبح التعامل مع الحاسب الآلي computer بشكل مباشر في عمليات الفصل التلقائي أمرا ميسورا بل وضروريا وقد رفع من مستوي كفاءة العمل في المجال هذا .

وتتنوع المتممات في شكل فصائل وأنواع مختلفة ويتم وضعها في ثلاث أشكال هي :

الشكل الأول : تبعا لنظرية التركيب Construction

تنقسم المتممات إلي أنواع عدة بطرق مختلفة فهنا بالنسبة لنظرة تركيب المتمم وعمله نستطيع أن نضع هذه المتممات بالتصنيف التالي :

١- النوع الكهرو مغناطيسي electromagnetic

وهو صالح لكل من دوائر التيار المستمر D. C. أو المتردد A. C. ويعتمد علي ذراع الحركة الحديدي moving iron داخل المجال المغناطيسي magnetic field والمتولد من تواجد التيار الكهربي ويعمل غالبا بأسلوب الذراع المتزن balanced beam type ويشمل هذا النوع الذراع الجاذبة بالمجال وهي المعروفة باسم attracted armature hinged .

٢- النوع الإستنتاجي induction type

يمثل هذا الطراز النوع الأعم والأكثر شيوعا وهو يصلح لدوائر التيار المتردد فقط مثل المحركات التأثيرية (الاستنتاجية) induction motors حيث يتحرك المحور وعليه اسطوانة rotor نتيجة للعزم torque المتولد من تباين في الزاوية بين الفيضين flux المؤثرين علي الاسطوانة المحورية .

٣- النوع الكهرو حراري Electro-thermal

يشكل طرازا هاما عند قياس درجة الحرارة لوسط مثلا ومعبرا عن درجة حرارة ملفات أو أجزاء هامة بعيدة المنال لقياس درجة الحرارة الخاصة بهذه الملفات ومنها قياس درجة حرارة زيت المحول نيابة عن الملفات مثلا .

٤- النوع الفيزيقي - كهربي *Physico-electric*

ويعتمد هذا النوع علي الظاهرة الطبيعية المصاحبة للحالة الخطرة والملزمة للفصل الفوري مثل حالة جهاز البوخلز **Buchholze** بوقاية المحولات وهو يعتمد ظاهرة التواجد الغازي نتيجة التأين **ionization** في زيوت المحولات .

٥- النوع الإستاتيكي *static*

يعتمد هذا المتجدد باستمرار مع التطورا تاليومية في تكنولوجيا التصنيع علي المكونات الإلكترونية الداخلة في تركيب وتشغيل الدوائر الكهربية مثل الترانزيستور والصمامات الحرارية **thermo-ionic** والمكبرات المغناطيسية **magnetic amplifiers** .

٦- النوع الكهرو ديناميكي *electrodynamic*

وهو يشبه أجهزة القياس **measuring instrument** بأسلوب الملف المتحرك **moving coil** .

كما يتم تنويع المتممات مع شكل الملامسات **contacts** الخاصة به فنجد التوزيع علي النحو التالي :

أولا : متممات وحيدة الملامسات *Single Contact Relays*

حيث يقوم المتمم بتشغيل ملامس واحد فقط وهو ينقسم إلي

١- ملامس مفتوح الوضع *Normally Opened Contact*

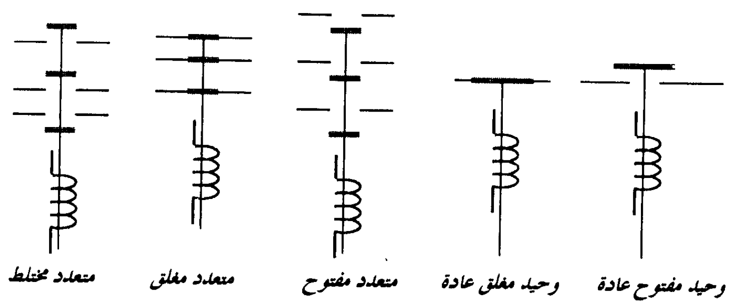
حيث يتم توصيل الملامس والذي عادة ما يكون مفتوح ويقفل عند مرور التيار الناتج عن وجود خطأ في الدائرة الأصلية (الشبكة) .

٢- ملامس مغلق عادة *Normally Closed Contact*

وهو علي عكس النوع السابق حيث يكون الملامس مقفلا في الوضع المعتاد ويفتح فور حدوث التيار أو الجهد الناتج عن وجود قصر أو خطأ ما في الشبكة الكهربائية .

ثانيا : متممات متعددة الملامسات *Multi Contact Relays*

بينما تأتي نوعية المتممات ذات الملامسات العديدة بأنواع مختلفة نراها في الشكل رقم ١-٨ حيث نري منها نفس النوعية السابقة بشكليها المفتوح أو المغلق بجانب إمكانية الخلط بين النوعيتين .



الشكل رقم ١-٨ : أنواع المتممات تبعا لشكل الملامسات الخاصة بها

الشكل الثاني : تبعا لنظرية التشغيل **Theory of Operation**

١- النوع المحدد للقيمة الدنيا **under current**

وهو أما يعمل أو يحدد القيمة الأدنى لأي من القيم الكهربائية المطلوبة (تيار – جهد – قدرة – زاوية)

٢- النوع المحدد للقيمة الأقصى **over current**

وهو أما يعمل أو يحدد القيمة الأقصى لأي من القيم الكهربائية المطلوبة (تيار – جهد – قدرة – زاوية)

٣- النوع المحدد لاتجاه ما **directional type**

وهو يقيس الكمية في اتجاه محدد أو يقيس القيمة إذا ظهرت في الاتجاه المعاكس ويصبح **reverse type**

٤- النوع التفاضلي **differential type**

ويستخدم هذا التفاضل للتباين بين إما الزاوية بين جهتين أو بين كميتين في جهتين أو كلاهما معا بوضع الضبط المناسب لهذه المقارنة .

٥- النوع الخاص بالمسافة **distance type**

يقيس هذا النوع المقاومة من خلال النسبة بين قياس الجهد وقياس التيار

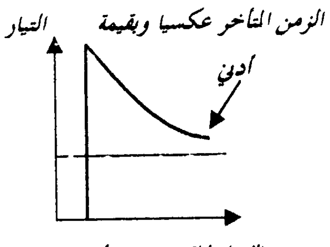
الشكل الثالث : تبعا للزمن **Tripping Time**

١- الزمن الفوري **instantaneous**

لا يوجد فعلا الزمن الصفري ولكنه يعمل بسرعة في زمن صغير جدا يمكن اعتباره صفرا من الناحية العملية ويمثل الضرورة القصوى عند الحالات الطارئة والخطرة على تشغيل المعدة تحت هذا النوع الزمني للوقاية.

الزمن المحدد في التأخير   التيار
الزمن المتأخر عكسيا

زمن الفصل التلقائي



(أ)   نوعي الزمن الثابت والتناسبي   (ب) نوع الزمن التناسبي بحد أدنى

الشكل رقم ١-٩ : أنواع الضبط الزمني الممكن لتشغيل الفصل التلقائي للمتممات بالشبكة

٢- الزمن المحدد في التأخير **definite time lag**

هذا النوع لا يعتمد علي قيمة التيار أو الجهد بل يوضع له وضع قيمة تشغيل وتعرف باسم **setting** .

٣- الزمن المتأخر عكسيا **inverse time lag**

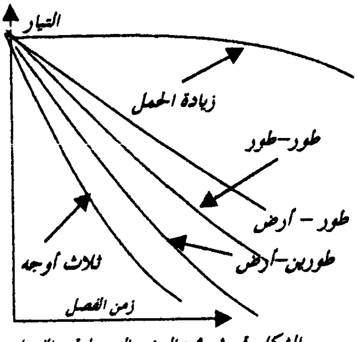
يعتمد زمن تشغيل المتمم علي قيمة التيار المقاس ويتناسب مع هذه القيمة تناسبا عكسيا

٤- الزمن المتأخر عكسيا بقيمة أدنى **inverse definite time minimum lag**

يعتمد هنا الفصل علي زمن يتناسب عكسيا بشرط ألا يتم الفصل قبل الزمن الأدنى

٥- نوع الخطأ Type of Fault

هذا الزمن يتوزع علي محور نوع الخطأ أو القصر كما في الشكل رقم ١-٩ حيث يوضع علي أربع مستويات هي : المستوي السريع ويعبر عن القصر ثلاثي الأوجه سواء مع الأرض أو بدونها بينما الثاني يعبر عن القصر بين وجهين مع الأرض أما الثالث فيخص القصر مع الوجه المفرد مع الأرض ، كما يأتي التشغيل غير المرغوب فيه وهو التشغيل غير العادي (زيادة التحميل) في مستوي رابع ويطئ الفصل عن كل الحالات السابقة.



الشكل رقم ١-٩ : التوزيع الزمني لوقت الفصل

ثانيا : مصطلحات فنية EXPRESSIONS

تتعامل الجهات المختلفة في هذا المجال من خلال بعض المصطلحات الفنية الهامة والأساسية وسوف نتعامل معها باللغة الإنجليزية حسب المعمول به لأن الشائع منها بالعربية غير موجود ولذلك نذكر منها طبقا للحروف الأبجدية ما يلي:

Actual transformation ratio **: It is the ratio between actual primary to actual secondary values .**

All or nothing relay **: a relay intended to be energized by a quantity whose value is either higher than that at which it picks up (or lower than drop out).**

Auxiliary relay**: All or nothing relay is energized via the contacts of another relay .**

Back up protection**: to supply the main protection preventing any ineffective or to cover dead zones**

Balance resistance (B. R.) **: to adjust the zero current in the relay coil**

Biased relay**: to modify the actuating quantity to more realistic value**

Burden**: The loading imposed by the relay circuits on the energizing power source in VA or W (dc) for a given condition (power consumption).**

Characteristic angle**: it is between vectors of two quantities applied to the relay.**

Characteristic curve**: it shows the operating characteristic for the interested quantity**

Characteristic quantity**: it characterizes the relay operation.**

Characteristic impedance ratio (C. I. R): **a value up to which the relay operates accurate .**

Check protective system**: to prevent tripping due to false signals**

Composite Error : It is the RMS value for the difference between actual primary and secondary currents during a complete cycle.

Conjunctive test: a general test covering the secondary circuits and it may be :

* Parametric test : for range values for each parameter .
* Specific conjunctive test: to prove the performance for a certain application

Current error (ratio error) : It is the percentage of actual difference between primary and secondary currents relative to the last one .

Current Transformer (C. T.) : The measuring transformer for the ratio of the actual current in the network.

Dependent time measuring relay: It is for dependence on the tested quantity.

Discrimination: to specify the condition

Drop out: A relay drops out when it moved from the energized position to another un-energized one .

Drop out / pick up ratio: for limits of the values of operation and *reset.*

Earth fault protective system: to sense the earth faults only.

Earthing transformer: A 3 phase transformer to earth the neutral point of a system .

Effective range: the range of effective values of the aimed quantity.

Effective setting: the setting including the C T effects .

Electrical relay: it provides a sudden effect in one or more of circuits (secondary or tripping).

Electromechanical relay: it depends on the electromechanical forces .

Energizing quantity: this quantity operates the relay .

Excitation current : It is RMS secondary current deduced by the rated voltage in an open circuit.

Flag (Target) : A usual device (spring or gravity operated) for the purpose of indication about the relay operation.

Independent time measuring relay: the specified time is independent inside the range .

Instantaneous relay: operates within no time . (and reset)

Inverse time delay relay: has a time relative to value .

Inverse time relay with definite minimum time (I. D. M. T.): has a minimum time to operate

Knee point e. m. f.: it is a sinusoidal applied to C.T secondary circuit and causes current increase 50 % of the knee value when emf is raised by only 10 % .

Maximum Torque Angle : It is the maximum value, corresponding to the torque appeared on a rotating disk

Main protection: the main secondary circuit responding to faults .

Measuring relay: An electrical relay intended to switch when the value measured is accurate .

Notching relay: it switches in response to a specific number of impulses .

Operating time: time between the application of characteristic till the relay operates .

Operating time **characteristic**: A curve chart with operating time .

Operating value: The limiting value to act the relay. This value can be torque or force or current.

Over current factor : The ratio of rated short time current to rated primary value.

Overshoot time: it is the difference between the operating time of a relay and the maximum duration of the value of input energizing quantity .

Over reach : It is a value when a relay operates at less than required.

Pick up: means the change to an energized condition, causing the closing for the contacts of a relay.

Phase angle error : It is the angle between primary current vector and the reverse vector of the secondary one . (for VT or CT)

Pilot channel: wires for connections in protective schemes .

Potential Transformer (P. T.) : It a transformer to measure the voltage at a network . It can be expressed too as Voltage transformer (V. T.) .

Protected zone: The protected portion in a network .

Protective gear: all equipment (relays , transformers , ..)

Protective relay: tripping device .

Protective scheme:. the coordinated arrangements for the production of one or more elements of a power system .

Protective system: a circuit or more for protection the network

Rated accuracy limit primary current : It is the highest value of primary current to limit the composite error according to the manufacture plate.

Rated burden : It is the rated value determined by the designer to give the required accuracy.

Rated primary current : It is the specified value for the full load condition for CT or VT .

Rated short time primary current : It is the RMS component to withstand for operation.

Rated secondary current : It is the designed main plate value.

Rated transformation ratio : It is the ratio between nominal primary to secondary value (CT or VT).

Rated saturation factor : It is the ratio primary saturation to the rated value.

Rated saturation primary current : It is the highest value of primary current to maintain the accuracy.

Rating: a combination of protective gear to secure a system .

Resetting value: a value to return the initial position .

Residual current: Algebraic sum of line currents .

Residual voltage: That above but for voltages .

Restraining value (Torque or Force) : It is the value required to close the contacts of a relay.

Seal in Coil : It is the value which does not allow the relay contacts to open when the current is flowing through .

Setting: limiting values (characteristic or energizing) to operate the relay .

Stability: a stable operation under all conditions .

Stability limits : The value of RMS current to change the protective scheme into unstable one .

Starting relay: A unit relay responding to abnormal conditions to initiate the process of switching signal in the secondary circuit .

Static relay: it is an electronic circuit to respond a certain value measured .

System impedance ratio (S. I. R.): It is a source network impedance / protected zone impedance .

Through fault current: the current flowing through a protected zone to a fault beyond that zone

Time delay: time lagging the process of tripping .

Time delay relay: a clock relay to lag the process of action .

Tripping Coil (T. C .) : The coil, which gives the order for tripping the circuit .

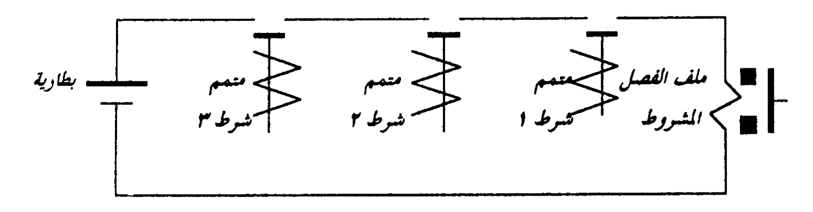
Under Reach : It expresses that the relay does not operate at a faulty condition.

Unit electrical relay: a single relay used alone or in combination .

Unit protection: it operates only for fault cases .

Unrestricted protection: a protection system with no clearly defined zone and achieves selective operation only by time grading .

ويتم التعامل مع هذه المصطلحات **expressions** باللغة الإنجليزية حتى لا يحدث تداخل في المعاني ومع ذلك سوف نجهد في وضع العبارات العربية المناسبة لها لأنها تتغير من فرد إلي آخر ومن كتاب إلي غيره بالرغم من تواجد أغلب المصطلحات بشكل موحد عن طريق المجمع العربي ، ويمكن رجوع السبب إلي عدم تداول اللغة العربية باستمرار في جميع المجالات خصوصا مع التقدم العلمي الغربي السريع والذي يحتاج إلي مواكبة مستمرة . وجدير بالذكر أن نضع هنا مع هذه المصطلحات أحد المصطلحات الفنية اللازمة للشرح من حيث المبدأ في شكل الدائرة الكهربائية إذا ما كانت هناك شروطا متعددة من الواجب توافرها لتشغيل المتمم وهو أيضا من الأسس المتبعة في دوائر التحكم **control circuits** بشكل عام ولذلك يعرض الشكل رقم ١ – ١٠ الدائرة العامة **general circuit** لتواجد الشروط في أداء عمل تلقائيا **automatic** .



الشكل رقم ١ – ١٠ : الدائرة المبسطة للشكل العام لربط الشروط كي يقوم المتمم النهائي بعملية الفصل

كما نضيف إلي المصطلحات الفنية تجميعا رياضيا بالدوائر المكافئة **equivalent circuits** في حساب تيار الخطأ **faulty currents** في شكل مبسط **simple form** ومجدول **tabulated** باعتبار أن هذا العمل الرياضي **mathematical analysis** قد سبق التعامل معه ونضعه في جدول كملخص لأهم ما سوف نضطر للحاجة إليه أثناء دراسة دائرة ما من أجل وضع أسس **the basic setting** الوقاية اللازمة لها (الجدول رقم ١ – ١)

الجدول رقم ١-١ : معادلات التيار في حالات القصر

Type of fault	Positive current I_1	Positive impedance Z_1	Equivalent circuit
3 phase fault	$= E / (Z_1 + 0)$	0	Z_1, I_1, E
Single line to earth	$= E / (Z_1 + Z_2 + Z_0)$	$Z_2 + Z_0$	I_1, I_2, I_0, Z_1, Z_2, Z_0, E
Line to line	$= E / (Z_1 + Z_2)$	Z_2	I_1, I_2, Z_1, Z_2, E
Double line to earth	$\dfrac{E}{Z_1 + \left(\dfrac{Z_2\ Z_0}{Z_2 + Z_0}\right)}$	$\dfrac{Z_2 \cdot Z_0}{Z_2 + Z_0}$	Z_1, I_0, Z_0, I_2, Z_2, I_1, E

١-٥ : أسئلة *Questions*

١- هي النظم العملية لتوزيع المناطق علي الشبكات الموحدة ؟

٢- أذكر أسلوب واحد للنظم المتبعة في توزيع مراكز الأحمال وتكلم عنه بالتفصيل.

٣- ما هي العيوب التي من الممكن أن تلحق بنظم توزيع مراكز الأحمال ؟

٤- قارن بين توزيع مناطق الوقاية وبين توزيع مراكز الأحمال عيوبا وميزات .

٥- حدد أهمية تواجد مراكز الأحمال عند الربط الكهربي العربي .

٦- بين السبب الذي يجب أن تربط الشبكات القومية من خلال الربط المتعدد .

٧- أذكر عددا من المزايا للربط بين الدول علي المستوي الدولي .

٨- لماذا نحتاج للوقاية في الشبكات الكهربية ؟

٩- فسر أهمية الوقاية في شبكات التوزيع .

١٠- لماذا يلزم تواجد وقاية مع الأجهزة الكهربية والمنزلية ؟

١١- قارن بين نظم الوقاية المختلفة .

١٣- اشرح بالتفصيل الدوائر المتتالية في شبكات الوقاية العاملة في شبكة كهربية موحدة .

١٤- ضع رؤية مستقبلية لشكل النظم الكهربية عالميا

محـــــولات القياس

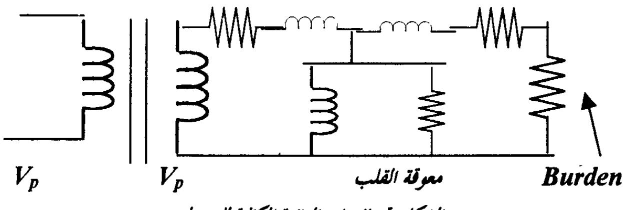
Measuring Transformers

عادة نحتاج لقياس الكميات الكهربائية electric quantities في الدائرة الأساسية primary circuit وهي كبيرة مثل التيار current الذي يصل إلي مئات الكيلو أمبير والجهد voltage الذي يبلغ أيضا مئات الكيلو فولت فالتيار الكبير يسبب فقدا حراريا heat loss ضخما فإذا كانت مقاومة الأميتر ١ أوم لبلغت القدرة الحرارية م.وات (1 MW) وهي قدرة كافية لصهر الحديد خصوصا وأننا نحتاج للقياس بصورة دائمة بدون غفلة من الزمن كما أن الجهد العالي HV يسبب الدمار لأي عزل أو يصعق الأفراد في حيز المجال النشط effective field له ولهذا كان علينا أن نلجأ إلي تمثيل الكميات الحقيقة real في الشبكة بكميات أصغر تلائم القياس وبدون فقد loss أو أضرار hurts ومن هنا تأتي أهمية محولات القياس وهي محولات الجهد VT ومحولات التيار CT يستخدم كلا المحولين لأغراض ثلاثة أساسية هي القياس measurementكما يحدث لبعض الكميات الكهربائية والقراءة reading مثل الأميتر والفولت متر والوقاية protection من العيوب الطارئة (مثل القصر short circuit بكافة أنواعه متماثلة أو غير متماثلة – والمتصلة بالأرض أم لا- أو تحميل زائد over load أو تغيير اتجاه سريان الطاقة)، وهي التي قد تحدث بكافة أنواعها أثناء تشغيل الشبكة بغرض الفصل التلقائي automatic tripping الفوري أحيانا . ففي القياس يجوز الحصول عليها قياسا في دائرة تحكم control circuit أو تسجيلا علي رسم بياني مثل القدرة والطاقة أو أيضا الأوسلوجراف . لذلك سوف نستعرض في شكل مختصر كلا من المحولين .(الشكل رقم ٢-١) .

٢-١ : محول الجهد Voltage Transformer

هكذا نحتاج إلي تمثيل الكميات الكهربائية بذات الصفات وبالدقة المطلوبة حتى نستطيع إجراء عمليات الوقاية بشكل صحيح وبدون خطأ ولكن هذه المحولات تخضع لظاهرة اللاخطية في مناطق محددة من الخواص مما يضيع علينا نقل الكميات وتحويلها بالدقة المطلوبة سواء أثناء التشغيل العادي أو في الحالات الانتقالية (الفجائية) وتتمثل في وقت الفصل للمتمم مما يجعلنا نؤجل عملية أمر الفصل إلي ما بعد ذلك كي تستقر القيمة تحت

القياس ، ويتسبب القلب المغناطيسي عموما في جميع أنواع المحولات بهذه الظاهرة ، وبالرغم من ذلك ففي بعض الحالات يلزم الفصل الفوري دون انتظار وأثناء الفترات الفجائية .



الشكل رقم ٢-١ : الدائرة المكافئة للمحول

يعطي الشكل رقم ٢-١ الدائرة المكافئة equivalent circuit عموما لمحولات القياس بنوعيها حيث يعتبر محول الجهد كمحول قدرة بالقدرات الصغيرة جدا ويختلف في التصميم للحالتين بينما محول التيار يمثل الأميتر ammeter في الدائرة وهذه الدائرة المكافئة تعبر عن الناحية الثانوية secondary للملفات بينما الجهة الأولية primary تعطي بالنسبة ١:١ ويعرض الشكل رقم ٢-٢ الرسم المتجه vector diagram لمحولات الجهد ، ويظهر خطأ error في القياس بجهتين ، سواء كانت بهدف القياس أو الوقاية ، الأولى هي القيمة value بينما الثانية تصبح الزحزحة في الزاوية phase displacement .

أولا : تصنيف محولات الجهد Classification of VT

توضع محولات الجهد VT بشكل عام في التصنيف التالي :

النوع الأول : محولات كهرو مغناطيسية Electromagnetic VT

تشمل هذه النوعية شكلين جوهريين منها وهي :

١- محولات عادية مفردة المرحلة normal VT وهو النوع الشائع استخداما ويتواجد بكثرة في كل المحطات ولكنه أيضا ينقسم إلى :

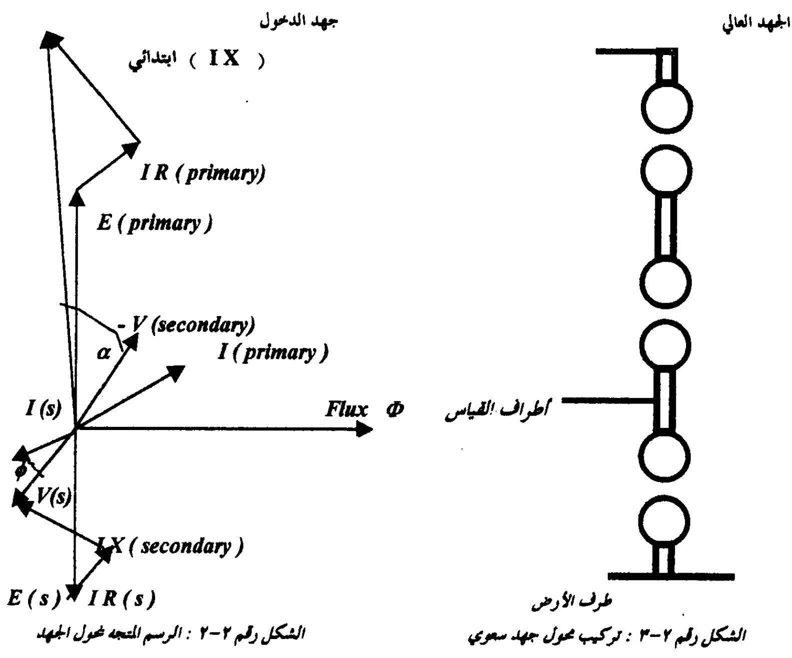
(أ) محولات لها قلب حديدي single core single phase منفرد لكل وجه تمثل أكثر الأنواع تواجدا في الشبكات عموما وتستخدم في الوقاية ما عدا حالات الوقاية بقيمة الجهد المتبقي residual .

(ب) محولات ثلاثية الوجه وحيدة القلب **3 phase single core** تتواجد مع الجهد المنخفض **LV** مثل شبكات التوزيع **distribution** وهي جيدة وصالحة للعمل إلا انه يلزم لها نوع آخر خماسي الأذرع وحيد القلب **single core 5 limbs** عند التعامل مع قيمة الجهد المتبقي كما سيظهر فيما بعد تفصيلا .

٢- محولات متعددة المراحل الجهدية cascaded VT وهو يصلح في معامل الاختبارات

النوع الثاني : محولات سعوية Capacitive VT

تمثل محولات اقتصادية **economic** كلما ارتفع الجهد المقنن للشبكة وتعطي من المتاعب والمشاكل في الحالات الانتقالية **transients** وتتأثر بذبذبة المنبع الكهربي **frequency** وتتأثر أيضا بقيمة البردن **burden** المتصلة بالأطراف الثانوية وتنقسم عموما إلي :



الشكل رقم ٢-٢ : الرسم المتجه لمحول الجهد

الشكل رقم ٢-٣ : تركيب محول جهد سعوي

١- محولات ذات أوضاع ضبط متعددة وهي قيم قياسية ومنها ١٠ ، ٢٥ ، ٥٠ ، ١٠٠ ، ١٥٠ ، ٢٠٠ ، ٥٠٠ ف. أ. وتعرف باسم stepped output transformers ويصلح هذا الطراز للجهد أعلي من ٢٢٠ ك. ف. حيث يرتفع في المقبل تكلفة المحولات من النوع المغناطيسي السابق ويزداد الفقد فيه مما يعطي الميزة لاستخدام هذا النوع في الجهد العالي .

٢- محولات للربط coupling VT مع دوائر الكاريار carrier وهي المستخدمة عند أطراف المحطات لاستقبال الذبذبات العالية HF والمستخدمة في وسائل الاتصال أو القياس

وجميعها تعمل بعزل كهربي وهو إما بزيت المحولات أو بالغاز العازل SF6

جدير بنا أن نتعرض لحول الجهد وقيمة الخطأ error الحادث فيه (σ) وهو ما يأخذ الشكل الرياضي :

$$\sigma = (K_s V_s - V_p) \times 100 / V_p \ \% \qquad (2\text{-}1)$$

وتظهر هنا أن قيمة الخطأ في حساب الجهد الثانوي يعتمد علي قيمة الجهد الذي يقاس فعلا بينما النسبة بين الجهدين المقننين nominal أو عدد اللفات لكل من الملفين الابتدائي والثانوي فهذه النسبة المئوية تكون موجبة إذا كانت القيمة تحت القياس أكبر من المقنن وهي تحتاج إلي إضافة ملفات للتعويض فتزيدها لتغطية العجز في قيمتها وتصبح موجبة لقيمة القدرة المقننة الصغيرة لدائرة الفصل بينما تتغير إلي سالبة مع القدرة الكبيرة ، أما بالنسبة للزحزحة في الزاوية α بين الجهد الابتدائي ومعكوس الجهد الثانوي فتعطي قيمة موجبة عندما يكون الجهد الابتدائي هو المتأخر وعند الجهود الفائقة نحتاج إلي تقليل الفقد وتصغير الخطأ فنلجأ إلي استخدام السعة capacitance بدلا من الملفات كما نراها في الشكل رقم ٢-٣ حيث نجد أطراف الثانوي علي الثغرة الأولي gap وهو ما يقلل الخطأ بقدر كبير .

وتتواجد العلاقات الرياضية بين هذه الجهود تبعا للدائرة المكافئة علي النحو المبين في المعادلة :

$$V_s = E_s - I_s (Z_s + Z_b) \qquad (2\text{-}2)$$

$$V_p = E_p + I_p Z_p \qquad (2\text{-}3)$$

من هاتين المعادلتين وللمحول المثالي ideal وهو ما يعني :

$$I_e = 0 \ , \quad I_p Z_p = 0 \ , \ K_s = V_p / V_s \ \&$$

$$\text{Angle between } V_p \ \& \ V_s = -180^o$$

بينما للمحول الفعلي actual حيث (V_p لا تساوي $K V_s$) فنحصل علي قيمة واضحة للخطأ كما جاء في المعادلة ٢-١ ، ويظهر الخطأ في قياس الجهد (مبين في الجدول رقم ٢-١) حيث تعطي القيمة للحدود بين ٠,٨

-- ٢,١ من الجهد المقنن وفي إطار اتجال (٢٥,٠ - ١) من القدرة المقننة مع معامل القدرة بقيمة ٨,٠، علاوة علي ذلك الخطأ في أوقات القصر *fault* وبنفس القدرات المقننة بالجدول ٢-٢ والجهد ابتدائي من ٠٥,٠ إلي (V_f) حيث تنخفض القيمة بشدة ويبين الجدول رقم ٢- ٣ قيمة الخطأ المسموح به في محولات الجهد .

الجدول رقم ٢-١ : حدود الخطأ في محولات الجهد

مستوى الدقة accuracy class	الخطأ في نسبة الجهد (%)	الزاوية α دقيقة	غرض الاستخدام	تطبيقات
٠,١	± ٠,١	± ٥	قياس	في المعامل
٠,٢	± ٠,٢	± ١٠	قياس	في المعامل
٠,٥	± ٠,٥	± ٢٠	قياس	في المصانع
١,٠	± ١	± ٤٠	قياس	في المصانع
٣,٠	± ٣	± ١٢٠	وقاية	قياس ووقاية
٥	± ٥	± ٣٠٠	وقاية	مع متممات
١٠	± ١٠	غير محددة	للجهد المتبقي	لتمم اتجاه

يأتي معامل الجهد **voltage factor** (V_f) أيضا ليمثل الحد الأدنى **minimum** للجهد العامل بوحدات الوحدة **per unit** نسبة إلي قيمة الجهد المقنن للمحول **full load** وهو من المعاملات الهامة لتشغيل المتمم بطريقة سليمة ولتأكيد دقة القياس حتى في أثناء لحظات القصر **during short circuit** ، كما تتم زحزحة نقطة التعادل **neutral point** مع الأخطاء والتوصيل بالأرض خصوصا في النظم غير المؤرضة **unearthed** أو تلك المؤرضة من خلال معوقة **impedance** أو مقاومة مما يرفع الجهد علي الأوجه غير المصابة بالخطأ **unfaulty phases** ويسمح هذا المعامل للقياس السليم بفترة زمنية طبقا لما جاء في الجدول رقم ٢-٣ .

من الجهة الأخرى ولضمان دقة القياس من محول الجهد يجب أن تكون معوقة الملفات بقيمة صغيرة إضافة إلي

الجدول رقم ٢-٢ : حدود الخطأ الإضافية لمحولات الجهد في دوائر الوقاية

مستوى الدقة accuracy class	الخطأ في نسبة الجهدين (%)	الزاوية α (دقيقة)
3P	± ٣	± ١٢٠
6P	± ٦	± ٢٤٠

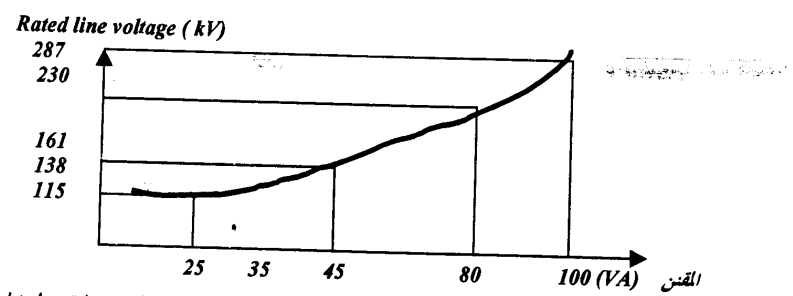
ضرورة تقصير أطراف الخروج **leads** من الملفات الثانوية تقليلا للفقد في الجهد **voltage drop** وهو ما يشير إلي أهمية تقصير مسارات أسلاك التوصيل في دوائر محولات الجهد بشكل رئيسي .

نستطيع حماية ملفات محولات الجهد في دائرة الابتدائي باستخدام مصهر **HRC fuses** وذلك للجهد حتى ٦٦ ك. ف. بينما يستعان بالمفاتيح الآلية **miniature circuit breaker** بدلا من ذلك في الثانوي مع الجهد الأعلى بشرط أن يكون أقرب ما يمكن من ملفات الثانوي لأن القصر في الثانوي يمرر تيارا أكثر عدة مرات من المقنن بينما في الابتدائي يكون صغيرا في ذات الوقت وغير ملموس القيمة وقد لا يحدث فارق ذو حساسية كافية في حالة القصر .

الجدول رقم ٢-٣ : الحدود القصوى للفترة الزمنية لقياس الجهد بدقة

طريقة توصيل الملف الابتدائي وحالة تأريض الشبكة	مقنن الزمن	معامل الجهد
بين الخطوط – بين نقطة ستار والأرض	مستمر	١,٢
بين الخط والأرض – مؤرض فعال	مستمر	١,٢
بين الخط والأرض – مؤرض فعال	٣٠ ثانية	١,٥
بين الخط والأرض في نظام غير مؤرض مع فصل تلقائي لخطأ الأرض	مستمر	١,٢
بين الخط والأرض في نظام غير مؤرض مع فصل تلقائي لخطأ الأرض	٣٠ ثانية	١,٩
بين الخط والأرض في نظام معزول عن الأرض بدون فصل تلقائي لخطأ الأرض	مستمر	١,٢
بين الخط والأرض في نظام معزول عن الأرض بدون فصل تلقائي لخطأ الأرض	٨ ساعات	١,٩

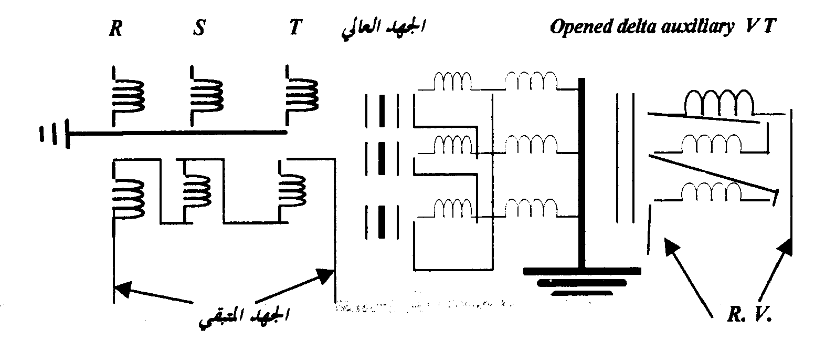
هنا نجد الملفات التي تخص المحولات هذه تتنوع في ثلاث أشكال هي : الشكل (*V-V*) والخاص باستخدامات القياس والشكل نجمة / نجمة (**star- star**) والخاص بأعمال الوقاية وكذلك الشكل دلتا المفتوحة (**delta-delta**) والمتخصص لحالات الوقاية بالجهد المتبقي ، كما نشير إلي أن هذه المحولات



الشكل رقم ٢-٤ : العلاقة البيانية لتغير المقنن للبردن تبعا لتغير الجهد العامل علية محول الجهد

والتي تعمل مع أجهزة الوقاية تخضع للمقننات وتعطي كل منها مقننا للبردن وهو يزداد مع الجهد كما نراه في الشكل رقم ٢- ٤ . وبالتالي يتحدد مقننات محولات الجهد بعدد من النقاط الأساسية هي : (**rated primary & secondary voltage – rated burden – supply frequency – class of accuracy – number of phases – insulation level – dimensions**)

كما تستخدم فكرة مجموع جهود الأطوار في النظم المتماثلة حيث يكون صفرا في الحصول علي قراءة محددة لقيمة الجهد الصفري والمعروف باسم الجهد المتبقي **Residual Voltage** والذي يشير إلي حدوث خطأ ما في الشبكة مما يستدعي الفصل التلقائي في حالات الخطأ لأحد الأطوار مع الأرض (**single phase to earth**) ويمكننا التوصل إلي ذلك الجهد (.R. V) في شكل الدلتا المفتوحة **opened delta** والتي تظهر في الشكل رقم ٢-٥ . كما نحصل علي ذلك عمليا بتوفير عدد ٥ من **Limbs** بحيث يخصص ٢ منهم في الجانبين بدون ملفات أوجه وذلك لمساعدة ظهور الفيض المغناطيسي لتواجد المركبة الصفرية من الجهد وبهذا نستطيع فعلا الإحساس بتواجد القصر في أحد الأطوار مع الأرض ومن ثم نعطي الأمر بالفصل تلقائيا .



الشكل رقم ٢-٦ : دائرة محول الجهد المساعد للحصول علي جهدا متبقيا في دائرة الوقاية

الشكل رقم ٢-٥ : الجهد المتبقي (R. V) بتوصيلة دلتا

هذه الفكرة غير ممكنة مباشرة في الموقع حيث توضع جميع محولات الجهد فردية الطور **single phase type** وبقلب مستقل لكل منها وبالتالي لا يمكننا خلق مسارا لمجموع الفيض داخل هذا التوصيل نتيجة عدم وجود قلب مغناطيسي واحد للثلاث أطوار وبه الجانبين الخاصين بالفيض للمركبة الصفرية مما يتطلب في مثل هذه

الحالات (وهي الواقع فعلا) أن يضاف محول جهد مساعد auxiliary VT علي الجهة الثانوية لمجموع المحولات بالموقع ومن ثم يوضع في تصميمه هذه الفكرة وبشرط أن يتم تأريض الملفات الثلاث الأولية حتى يستطيع الملف الثانوي (دلتا مفتوحة) من الاستشعار للجهد الصفري V_o ويبين هذا الوضع ما جاء في الشكل رقم ٢-٦ .

وفي هذه الحالة يتم قياس المركبة الصفرية للجهد علي طرفي الدلتا بقيمة :

$$\text{Voltage across} = 3\ V_{so} = V_{sR} + V_{sY} + V_{sB} \qquad (2\text{-}4)$$

كما يقابل ذلك من البداية ذلك الجهد الصفري في الملف الثانوي بقدر :

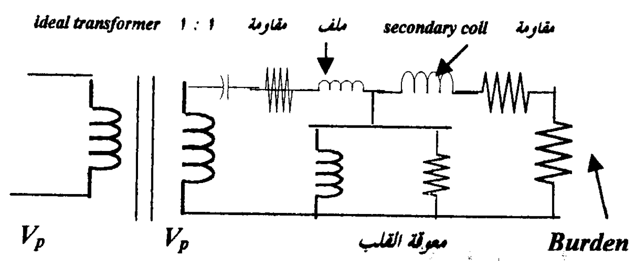
$$\text{Voltage main} = 3\ V_{po} = V_{pR} + V_{pY} + V_{pB} \qquad (2\text{-}5)$$

ويجب أن تخضع هذه القيمة لمبدأ النسبة بين القيمة والابتدائية علي النحو :

$$K = 3\ V_{po} / 3\ V_{so} \qquad (2\text{-}6)$$

والفارق في هذه النسبة هو المتسبب في ظهور الخطأ والسابق الإشارة إليه .

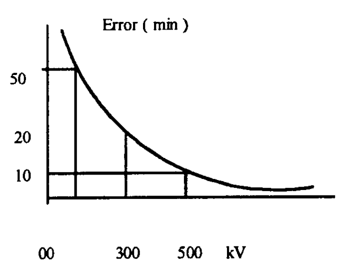
وهذه الدوائر عموما تستخدم بكثرة في عدد من الحالات مثل: (وقاية زيادة التيار/ أرض – التسرب الأرض المحظور – خطأ الأرضي كاتجاه – وقاية المسافة لتوصيل مع الأرض – متممات الإشارة للخطأ مع الأرض).

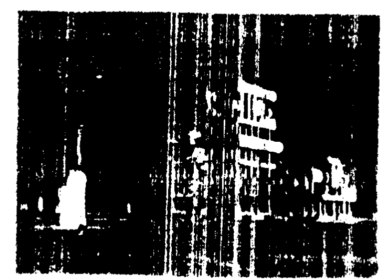


الشكل رقم ٢-٧ : الدائرة المكافئة لمحول جهد سعوي

وإن لم تؤرض ملفات المحولات الأصلية ungrounded systems أو تلك المؤرضة من خلال معوقة impedance فتظهر التوافقيات harmonics وبالأخص الثالثة في الدرجة 3^{rd} harmonic ويتم حسابها في الجهد المتبقي بدلا من القيمة الصفرية وبهذا نستطيع التغلب علي هذه الظاهرة مع هذه الدائرة . ومن الجهة الأخرى نجد حالة التيار المفاجئ inrush current في التوصيل كحالة انتقالية transient إضافة إلي بقاء

جزءا من الفيض **residual flux** في الملفات الابتدائية قد يساعد علي مرور تيار **circulating current** في المتمم حيث قراءة أمبير لفة **ampere turn** تعلو عن تلك للمتمم **burden** ولهذا تؤخذ بعين الاعتبار هذه الحالات، ويضاف إلي هذا أيضا تلك حالات الرنين **resonance** مع محولات الجهد السعوية **capacitance VT** لتواجد السعة والملف **coil** في دائرة الوقاية فيساعد عل الرنين التوالي **series resonance** (الشكل رقم ٢-٧) وهذا المحول باهظ الثمن إلا أنه يمثل ضرورة مع الجهد الفائق كما هو موضح في الشكل رقم ٢-٨ فنري معدلات مجال الخطأ **duration error** تقل بشدة مع رفع الجهد وهو ما يميز نوع هذا المحول .





الشكل رقم ٢-٨ : مدي الخطأ الزمني ***duration error*** *عند استخدام محولات الجهد السعوية*

الشكل رقم ٢-٩ : منظر التفريغ الكهربي في ثغرة هوائية بطول ١,٥ متر ليلا باستخدام محول جهد متعدد الطبقات Cascade VT

من ناحية أخرى يمكن التغلب علي مشكلة هذا النوع من المحولات في مجال الاختبارات علي وجه الخصوص بناء علي نظرية المحولات المتتالية حيث يتم التخلص من تواجد السعة عموما ويزاد مستوي من محملات متتالية بحيث يأخذ الملف الابتدائي لكل مستوي من الملف الثانوي للسابق له وتمتلك وزارة الكهرباء في مصر مثل هذا المحول في معمل فريد ووحيد وهو معمل الجهد الفائق بالطريق الصحراوي بين القاهرة والإسكندرية ويعرض الشكل رقم ٢-٩ هذا المحول أثناء إجراء تجارب لثغرة بطول ١,٥ متر هوائية مبينا أهمية هذا المختبر الهائل ..

وتتعرض محولات الجهد إلي بعض من العيوب والأخطاء أثناء عملها ونضعها في نقاط موجزة فيما يلي :

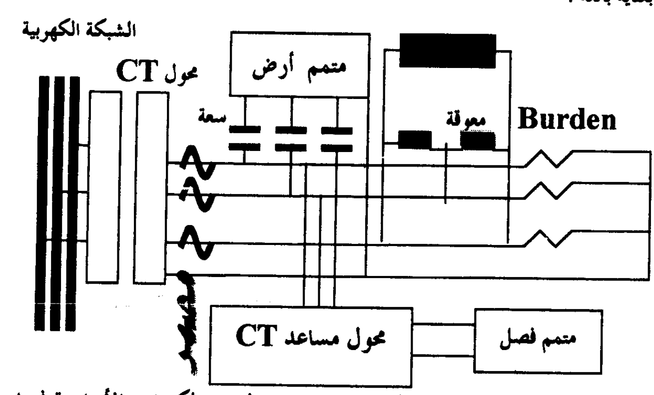
١- عيوب في الدائرة الثانوية

وهي أكثر العيوب شيوعا لما ينتج عن كثرة التعامل معها سواء بالاختبار أو بالتشغيل أو بالصيانة ولها من التفتيش والمعاينة أيضا جزءا من الأسباب وبذلك يرتفع التيار بها مما يزيد بالتبعية في الناحية الابتدائية ويتسبب في عمل المصهر بالملف الابتدائي مما قد يعطل أداء العمل المطلوب أحيانا .

٢- عيوب في الأجهزة العاملة بالدائرة الثانوية

تنحصر هذه الأجهزة في نوعين :

النوع الأول : ويشمل إما المتممات أو المكونات الكهربية الأخرى المشتركة بالدائرة ويظهر علي سبيل المثال من الشكل رقم ٢-١٠ تلك الأجهزة ففيها مكثفات ومقاومات بجانب نفس المتممات بما فيها تلك المساعدة وهو ما يعطي فرصة لحدوث عيب إذا ما حدث كسر أو عيب في مكونات الدائرة ولهذا يجب التعامل مع أجزاء الدائرة بعناية بالغة .



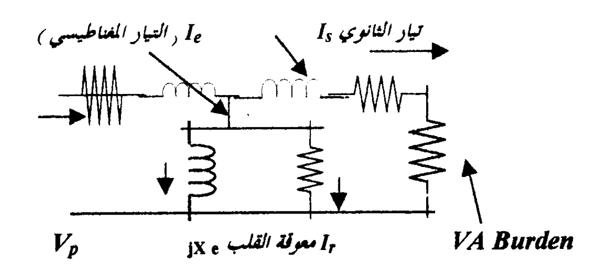
الشكل رقم ٢-١٠ : دائرة رمزية لتوصيل محولات الجهد والمكونات الأساسية فيها

النوع الثاني : ويشمل الأجهزة التي تقوم بالمقارنة بين الكميات في حالة محولات الجهد متعددة الملفات الثانوية

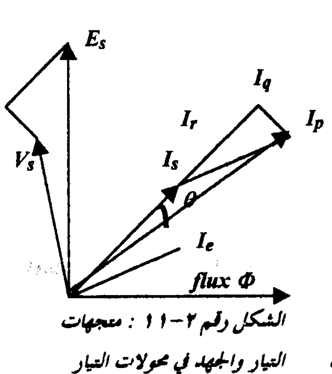
٣- عيوب بالدائرة الابتدائية

وتسبب مباشرة في عمل المصهر ويؤدي إلي توقف العمل الخاص بالمحول

٢-٢ : محول التيار Current Transformer



الشكل رقم ٢-١١ : الدائرة المكافئة لمحول التيار



الشكل رقم ٢-١١ : متجهات التيار والجهد في محولات التيار

يقوم محول التيار CT بذات الخاصية السابقة لمحول الجهد VT ولكن يستبدل الجهد بالتيار كما أن الملفات الابتدائية primary winding هنا تختلف عن تلك لمحولات الجهد حيث تكون هنا لفة واحدة في المعتاد بينما تكون كثيرة وذات مقاومة عالية في محول الجهد كي يمر تيار ضئيل small current في الملف الابتدائي وهي تستخدم أكثر من ملف للجهة الثانوية فمنها ما تحتاجه للقياس measurement أو التسجيل recording ومنها ما يلزم دوائر الوقاية protective circuits وقد تكون أكثر من نوعية وقاية ويجب أن يخصص لكل منها ملف مستقل individual secondary winding ، وفي هذه الحالة يتم توصيل المتمم relay مباشرة داخل دائرة الملف الثانوي بحمله المقنن burden (الشكل رقم ٢-١١). وهذه الدائرة المكافئة تعمل طبقا لمتجهات التيارات والجهد الموضحة في الشكل رقم ٢- ١٢ حيث يختفي من الرسم متجهات الجهد في الملف الابتدائي وهذا ما

نستطيع إدراكه من قبل ، وتمثل الزاوية θ بين تياري الابتدائي والثانوي قيمة زاوية الخطأ ويمثل التيار قيمة التيار المغناطيسي في الدائرة المكافئة كما موضح في الشكل ٢-١١ . كما نستطيع الحصول علي ذات المعادلات برقم ٢-٢ و ٢-٣ والتي سبق الحصول عليها لمحولات الجهد لأن الدائرة المكافئة هي نفسها .

إضافة إلي ما سبق يمكننا تحديد بعض الأسس للتعامل مع هذه الدوائر ونضعها في نقاط محددة علي النحو التالي :

١- يتم تمثيل الدائرة المكافئة **equivalent circuit** بشكلها العام والموضح سابقا في الشكل رقم ٢-١ وذلك في شكل الطور الواحد **single phase**

٢- معوقة الملف الابتدائي **primary impedance** كبيرة بالنسبة لتلك في الثانوي **secondary** وعادة ما تؤخذ كمقاومة **resistance**

٣- فرعي **both branches** تمثيل التأثير المغناطيسي **magnetic effect** يدخلان في الاعتبار وبقيمة أقل عن تلك لمحولات الجهد **VT**

٤- لا تؤثر قيمة مقاومة الحمل **burden** بشكل واضح في دائرة الملف الثانوي **secondary circuit** داخل نطاق تغير محدد وعادة ما يؤخذ مجالا لعمل الدائرة .

٥- لا يجوز قطع **interruption** دائرة الملف الثانوي **secondary circuit** أثناء تواجد تيار للارتفاع الهائل في قيمة الجهد والتشبع **saturation** الناتج في الفيض **flux** بالقلب المغناطيسي

٦- يوجد خطأ **error** في قيمة التيار الفعلي **actual current** وفي زاوية الإزاحة **phase displacement** نتيجة تواجد التأثير المغناطيسي والخواص غير الخطية المصاحبة للعلاقة بين الجهد والتيار **V/I characteristic** في الملف الثانوي

٧- يمكن حساب قيمة الخطأ إذا عرفت قيمة مقاومة حمل المتمم **burden impedance** ومعوقات التأثير المغناطيسي **magnetic impedance**

٨- يجب ألا يزيد مقنن الملف الثانوي **rating** لمحول التيار عن ما يخص حمل المتمم **burden** بجانب ما قد يدخل في الدائرة معه

وكذلك يلزم وضع محاور التعامل مع محولات التيار في دوائر الوقاية كما يلي :

المحور الأول : الخطأ Error

يعتبر الخطأ في قيمة التيار المحدد لتشغيل متمم ما من أهم المعاملات المؤثرة علي درجة فعالية الأداء وأي خطأ في هذه القيمة قد تنتج أخطارا لا حدود لها ولهذا يجب التعامل مع هذا النوع من الخطأ بدقة والبعد عن أماكن حدود الدقة ولهذا ينقسم الخطأ في دائرة الملف الثانوي إلي نوعين هما :

١ - الخطأ في القيمة Value Error

ويظهر نتيجة الفارق difference بين كلا من تيار الملف الابتدائي والثانوي وهو ما يعني التيار المغناطيسي magnetic current المار في فرعي المعوقة المغناطيسية أو المعروف باسم exciting current ويظهر في الجدول رقم ٢-٤ هذه القيمة لبعض من مستويات الدقة accuracy classes والتي تخص محولات التيار CT المستخدمة في مجال الوقاية protection والقيمة محددة بالنسبة المئوية لكلا من الاتجاهين الموجب (+) والسالب (-) وذلك في نطاق تغير قيمة البردن burden من ٢٥ % وحتى ١٠٠ % حيث يمثل مجالا واسعا للتغير غير أنه هناك أكثر من تلك المستويات في المواصفات العالمية standard وبالرغم من ذلك فان هذه القيمة وحدها لا تكفي لتعريف الخطأ حيث يوجد أنواعا أخرى كما يتضح من البنود القادمة . وهذا الخطأ يتم التعبير عنه بنفس السياق السابق لمحولات الجهد في الصورة :

$$\sigma = (K I_s - I_p) \times 100 / I_p \quad \% \qquad (2-7)$$

وهي القيمة التي تحدد دقة الوقاية والأجهزة العاملة فيها .

الجدول رقم ٢-٤ : حدود الخطأ في قيمة التيار لبعض محولات التيار

مستوي الدقة	من ١٠ حتي قبل ٢٠	من ٢٠ حتي قبل ١٠٠	من ١٠٠ حتى ١٢٠
٠,١	± ٠,٢٥	± ٠,٢	± ٠,١
٠,٢	± ٠,٥	± ٠,٣٥	± ٠,٢
٠,٥	± ١	± ٠,٧٥	± ٠,٥
١	± ٢	± ١,٥	± ١

٢ - الخطأ في زاوية الإزاحة phase displacement

يظهر هذا النوع نتيجة لتواجد التيار المغناطيسي في الفرع الحثي inductive branch ويكون صغيرا مع القيمة العالية لحمل المتمم الحثية inductive burden حيث يمكن اعتبار التيار والجهد في الملف الثانوي في ذات الاتجاه in phase في حالة معاملي القدرة الوحدة أو الصفري (كحالة تقريبية تبعا للقيمة الممكن إهمالها) . ويقدم

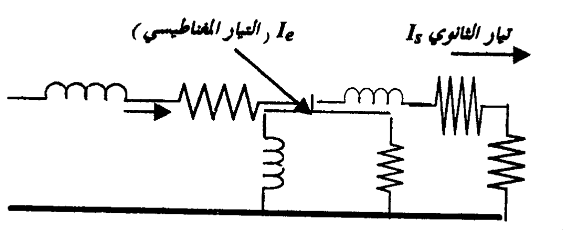
الجدول رقم ٢-٥ تلك القيمة في الخطأ التي تتواكب مع البيانات التي وردت في الجدول رقم ٢-٤ والخاص بالخطأ في القيمة فقط وبذلك يكتمل تعريف الخطأ وذلك لنفس المدى المعطي من قبل .

الجدول رقم ٢-٥: حدود الخطأ في زاوية الإزاحة لبعض محولات التيار لنطاق ٢٥ - ١٠٠ % من البردن

مستوي الدقة	من ١٠ حتى قبل ٢٠	من ٢٠ حتى قبل ١٠٠	من ١٠٠ حتى ١٢٠
٠,١	± ١٠	± ٨	± ٥
٠,٢	± ٢٠	± ١٥	± ١٠
٠,٥	± ٦٠	± ٤٥	± ٣٠
١	± ١٢٠	± ٩٠	± ٦٠

مثال ٢-١ : في الدائرة المكافئة (في الشكل رقم ٢-١٣) ، يلزم إيجاد قيمة الخطأ وحدوده في الحالات المختلفة حيث محول التيار بمقنن بالنسبة ٣٠٠ /٥ أ والجهد ١١ ك. ف. والبيردن بقيمة ١٠ ف. أ. أوجد التيارات المقننة والحدود الخاصة بتغير البردن (X_e=50 Ω R_e=150 Ω – مقاومة الثانوي ٠,٢ أوم – بردن 10VA)

الحل :



الشكل رقم ٢-١٣ : الدائرة المكافئة لمحول التيار

من المقنن الجهدي ١١ك. ف. نحصل علي القيم في الطور الواحد وهي = ١١ / $\sqrt{٣}$ = ٦,٣٥ ك. ف

نحصل علي قيمة معوقة الابتدائي وهي = $Z_p = V_p / I_p = 6.35 /300$

وهي بقيمة ٢,٢١ أوم وتتحول هذه القيمة في الدائرة المكافئة بنسبة مربع نسبة التحويل فتصبح

$$Z = Z_p \times r^2 = 21.2 \times (300/5)^2 = 76.2\ k\Omega$$

أما مقاومة المتمم كمقاومة فقط نضعها بقيمة = ١٠ / مربع التيار المقنن = ١٠ / ٢٥ = ٠,٤ أوم

يكون الخطأ أسوأ ما يمكن مع الحمل الحثي inductive burden فيصل إلي – ١,٢ % وإذا كانت النسبة هي ٢ : ١٢٠ يرفع الخروج إلي ٠,٨٣ % وتاركا الخطأ الكلي بقيمة – ٠,٣٧ % وفي حالة الحمل الصفري zero burden يصل الخطأ إلي + ٠,٧ % إذا أهملت المعوقة الحثية leakage reactance للملف الثانوي . ونشير إلي أن مستوي الدقة يعتمد علي نسبة التحويل لمحول التيار كما في الجدول رقم ٢–٦.ويبين الجدول أن هذه القيمة ثابتة وتعتمد علي مستوي الدقة للمحول .

الجدول رقم ٢–٦ : حدود الخطأ في القيمة في نطاق تغير في البردن من ٥٠ إلي ١٠٠ %

مستوي الدقة	نسبة تحويل ٥٠	نسبة تحويل ١٢٠
٣	± ٣	± ٣
٥	± ٥	± ٥

٣– تعويض الخطأ turns compensation

يلزم توضيح أننا هنا بصدد ثلاث أنواع من معامل النسبة وهي علي النحو التالي :

النسبة العادية K_n = مقنن التيار الابتدائي / مقنن التيار الثانوي (٢–٨)

نسبة عدد اللفات K_t = عدد لفات الملف الثانوي/عدد لفات الملف الابتدائي (٢–٩)

النسبة الحقيقية K_{ac} = التيار الابتدائي الفعلي / التيار الثانوي الفعلي (٢–١٠)

ومن هذه المعادلات الثلاث نحتاج إلي مزيد من الدقة وبيان تأثير كل منها ، حيث يجب التقليل في قيمة الخطأ من خلال تقليل عدد لفات الملف الثانوي secondary turns بلفة أو اثنين لتعويض الزيادة المتوقعة في التيار بالدائرة الثانوية وتعويض التيار المغناطيسي الكلي فيقل الخطأ إلي قيمة صغيرة يمكن إهمالها neglecting فمثلا في الدائرة الموضحة بالشكل رقم ٢–١٣ كما أن التيار الفعلي وقت القصر يزداد بقيمة كبيرة عن المقنن لأنه يمر لفترة قصيرة وبالتالي نحتاج إلي تحديده بقدر الممكن خصوصا وأن أسوأ خطأ يظهر مع البردن Burden الصغيرة . كما يظهر هذا أيضا النسبة لقدرتي البردن والمحددة بالمعادلة :

قدرة البردن / قدرة الضبط للبردن = مربع النسبة (التيار المقنن الثانوي / التيار المضبوط للمتمم) (٢–١١)

وتلك البردن لها من المقننات التي يتم التعبير عنها من خلال :

$$Z_b = S_b \ / (I_s)^2 = \{ R_b + j X_b \} = \{ Z_b \cos\phi + j\sqrt{(Z_b^2 - R_b^2)} \ \sin\phi \} \quad (2\text{-}12)$$

حيث أن الزاوية ϕ هي الزاوية لمعامل القدرة الخاص بالبردن .

ففي حالة البردن الصفيري نحصل علي تساوي تقريبي بين كلا من الجهد الخارج V والمسبب له EMF ويكون الخطأ أقل ما يمكن بينما مع القيمة الكبيرة يزيد الفيض المغناطيسي فيرتفع قيمة الخطأ لزيادة التيار المغناطيسي ولهذا السبب يجب أن تكون البردن الحيز المسموح به فقط .

٤ - الخطأ المختلط Composite Error

ويكون الخطأ ممثلا رياضيا بالمعادلة :

$$Error = (100 / I_p) \sqrt{\int_0^T (K\, i_s - i_p)^2 \, dt} \qquad (2\text{-}13)$$

من معنى هذه المعادلة نضع الصيغة المبسطة لها بالصورة :

Composite Error = RMS secondary current (ideal– actual) (2-14)

وهذه المعادلة تشمل الخطأ في القيمة وكذلك الزاوية بالإضافة إلي تواجد الموجات التوافقية **harmonics** والتي عادة تتواجد في التيار المغناطيسي **exciting current** والذي يتميز بالخواص غير الخطية **nonlinear** نتيجة الموجات التوافقية ويزداد تأثيرها عند منطقة التشبع **saturation** في خواص CT ، كما أنه إذا ما أهملنا الفيض المتسرب **leakage flux** وبدون وجود لفا ت التعويض السابق ذكرها في البند السابق فتؤول المعادلة السابقة إلي الشكل :

Composite Error = RMS of Exciting Current x 100 / primary current (2-15)

المحور الثاني : الدقة في محولات التيار Accuracy of CT

هذه الدقة تتفرع إلي المستوي المحدد لها ومنها ما هو محدد الغرض ومنها ما هو أكثر من ذلك كما يلي:

١ - مستوى الدقة Accuracy Class

يتم ترقيم مستويات الدقة لمحولات التيار تبعا للمواصفات القياسية الدولية وكلما زادت الدقة ارتفع سعر المحول لما يتمتع به من دقة في التصميم وقدرة أفضل علي الأداء فتوضع المحولات للإحساس بكميات عالية في مدى القصر وبالتالي تعمل عند تيارات عالية وأعلي بكثير عن تلك القيمة المقننة ولهذا يصبح ضروريا وضع حدود لهذه التيارات وهي ما تعرف باسم " Accuracy Limit Current " ويكون التعبير عنها بقيمة التيار المقنن في الملف الابتدائي أو بالقيمة المكافئة في الملف الثانوي وهي بالصيغة :

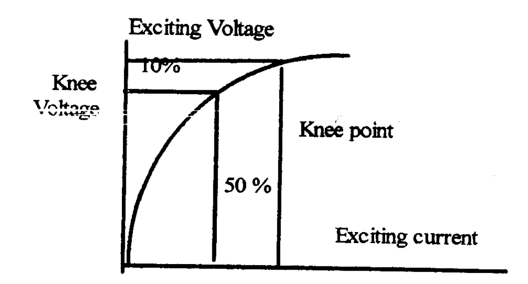
accuracy limit factor = Accuracy Limit Current / rated current (2-16)

وتحدد مستويات الدقة بالترقيم : (5P , 10 P , 15 P , 20 P , and 30 P) وهو ما يظهر بعضها تبعا للمواصفات الإنجليزية British Standard في الجدولين رقمي ٢-١ ، ٢-٢ ، وهذا يؤكد علي أن التيارات المغناطيسية magnetizing currents هي المسببة لنوعي الخطأ سواء في القيمة error ratio أو في الزاوية Displacement error لأنها تعتمد علي قيمة أمبير لفة AT الخاصة بالملف الابتدائي ونوعية القلب المغناطيسي فيه وقيمة المقاومة المغناطيسية reluctance في تلك الدائرة المغناطيسية . ويبين الجدول رقم ٢-٧ بعضا من هذه القيم المحددة لمحولات التيار عند ١٠٠ % من القيمة المقننة من البردن .

الجدول رقم ٢-٧: حدود الخطأ في زاوية الإزاحة لبعض محولات بالنسبة المئوية لتيار الابتدائي المقنن

مستوي الدقة	قيمة تيار	زاوية إزاحة	خطأ مختلط (%)
5P	١ ±	٦٠ ±	٥ ±
10P	٣ ±		١٠ ±
15P	٥ ±		١٥ ±

ونستطيع فهم أن المستوي ٣٠ مع بردن ١٠ ف.أ. يعطي إمكانية وصول تيار الثانوي إلي ٩ ك.أ.، أما بالنسبة لتيار القصر مع الأرض يكون الوضع عند ١٠ % والدائرة المفتوحة مع خطأ متصل بالأرض يصل إلي ١٠٠ مرة مثل إذا كانت عند وضع ١٠٠ % ولهذا نحتاج إلي عملية تعويض اللفات في الثانوي لمحولات التيار مع التيارات الهائلة الناتجة للقصر مع الأرض .



الشكل رقم ٢-١٤ : علاقة التيار والجهد. (Exciting Characteristic)

٢ – مستوي الدقة متعدد الغرض Class X CT

للوقاية من الخطأ مع الأرض ولغيرها من التطبيقات العديدة يجب الإشارة إلي أقصى EMF ناتج عن محول التيار وهو ما يظهر عند بداية التشبع حيث يقابل زيادة ١٠ % من الجهد بقيمة ٥٠ % زيادة في التيار (الشكل رقم ٢-١٤) ولهذا يتم تصميم محولات التيار للأغراض المتعددة والتي تعرف باسم Class X CT حيث تحتاج إلي تحديد قيمة تيار المغناطيسية عند نقطة بداية التشبع Knee Point ومقاومة الملف الثانوي)

الجزء الأول من هذا المنحني بعد الصفر وحتى نقطة بداية الصفات الخطية الفعلية عند النقطة المسماه بالكعب ankle point وهي تبدأ بعدها المنطقة الخطية وحتى نقطة العنق knee point فتدخل منطقة التشبع غير الخطية ولذلك في حالات الزيادة الهائلة للتيار قد تصل نقطة العمل إلي منطقة الرقبة وتسبب زيادة في قيمة الخطأ ومن هنا يلزم الحفاظ علي منطقة العمل في كل الحالات وحدود عمل الوقاية داخل المنطقة الخطية كي نحصل علي الدقة المحددة مع عدم التعرض لخطأ أكبر من مستوي الدقة المقنن للمحول .

٣- القطبية : Polarity

تتحدد القطبية بين اتجاه التيار في الملف الثانوي نسبة إلي نظيره في الملف الابتدائي ونجد في الشكل رقم ٢-١٥ ذلك الشكل المبين لاتجاه التيارات في كلا الملفين محددا نقطة البداية لكل ملف برقم ١ بينما تكون نهايات الملفات بالرقم ٢ وذلك من الأوضاع الهامة عند توصيل أطراف هذه الملفات في الدوائر الوقائية وخصوصا مع حالات جمع التيارات أو المقارنة بينهم .

التيار الابتدائي

P1 P2

S1 S2

التيار الثانوي

الشكل رقم ٢-١٥ :

اتجاه التيارات في محولات التيار CT

المحور الثالث : أنواع الملفات Types of Windings

تعتمد محولات التيار علي طريقة تركيب المحولات وكذلك علي أنواع القلب المغناطيسي المستخدم والذي عادة يكون مصنوع من سبيكة الحديد مع النيكل ويستخدم في كثير من الأحيان الشرائط العازلة له وفي كل الأحوال فان أهم أنواع القلب شيوعا هو القلب الحلقي والذي يتنوع إلي : (الشكل الحلقي ring type – الشكل المستطيل rectangular shape – الشكل العام oval core) كما يتفرع التقسيم بالنسبة لتكوين القلب شرائحيا فنجد منه الأنواع التالية : (شكل حرف L – شكل حرف I – شكل حرف C مقطوع – شكل حرف I مع E) ، وقد يتميز هذا المكان بالنسبة للمحولات المفرغة أو تلك العاملة بالعزل SF_6.

ينعكس الآن مكان وضع الملفات الثانوية داخل محولات التيار للجهد العالي وهي تتباين بين ثلاث مناطق هي :

١- المنطقة العلوية بجوار مكان أطراف الدخول تعتبر هذه المنطقة منطقة غير مناسبة في أغلب الأحوال لأنها قريبة جدا من الجهد العالي مما يجعل أعمال الصيانة ذات اعتمادية منخفضة بجانب أنها تطيل مسار دائرة التوصيلات الثانوية وهو ما يجب تجنبه وهي أيضا مكان مرتفع الحرارة وخصوصا مع الأنواع زيتية العزل .

٢- المنطقة الوسطى بين القاعدة وأطراف الجهد العالي وهي منطقة وسطى وتقع عليها بعض العيوب السابقة كطول المسار وان كان أفضل عن سابقه ، وقد يكون مناسبا لأنواع العزل الغازي .

٣- المنطقة السفلي عند القاعدة وهي المنطقة المناسبة لأنها أبرد الأماكن حراريا بجانب قصر مسارات الأسلاك والتمتع باعتمادية عالية لأعمال الصيانة حيث يمكن إجراء أعمال الاختبارات وتحت الجهد العامل .

تتنوع أيضا ملفات محولات التيار بشكل كبير ونوجز أهمها استخداما في مجال الوقاية علي النحو القادم :

١- ذو ملفات الابتدائي wound primary type

هذا النوع يناسب محولات التيار المساعدة auxiliary CT وكذلك تلك المحولات صغيرة السعة small للجهد ١١ ك. ف. كما أن أسلاك الملف الابتدائي primary winding تتحمل تيارات كبيرة في أوقات القصر ويهمل عادة ملفات التعويض equalizing turns بها ومنها مقننات مثل ٤ لفات في الابتدائي مقابل ٨٠ لفة في الثانوي وبمعدلات مقننة مثل ١٠٠ / ٥ أ ، ٤٠ أمبير لفة AT .

٢- ذو عازل الاختراق Bushing or bar primary type

يتكون مثل كل المحولات من قلب حديدي حلقي ring core وغالبا ما تتكون الشرائح المتتالية فيه من شريط واحد طويل single long stripe يتم لفه بطريقة حلزونية spiral حول المنتصف center مكونا القلب ، ويلف حول القلب ملفات ثانوية بحيث تلف حول كل المحيط ودون إنقاص من الدورة الكاملة لأي من اللفات ويجب أن يترك فراغا كافيا للعزل spacing بين طرفي البداية والنهاية له، وإذا كان الملف الثانوي متعدد الطبقات multi layer فيكون توزيع كل الطبقات علي طول المحيط كاملا ويمكن تباين المسافات بين الأسلاك لهذا الغرض تحقيقا للتساوي المنتظم في التوزيع علي طول المساحة أو المسافة المحددة لأي من الطبقات .

أحيانا يكون التيار الابتدائي قليلا small primary current فيصعب الحصول علي خروج output كاف بالدقة المطلوبة وهذا بسبب أن مقطع القلب الحديدي كبير فيحتاج إلي فيض أكبر لإنتاج الجهد EMF وكذلك بسبب قيمة الأمبير لفة exciting AT المؤثر في المجال المغناطيسي خصوصا مع الأقطار الكبيرة. ويستخدم هذا النوع مع مخارج محولات القدرة power transformers وأطراف المفاتيح الكهربائية circuit breakers .

٣- ذو القلب المتزن Core balance CT

هذا النوع يستخدم للبحث عن التيار المتسرب earth leakage إلي الأرض ويستخدم عند نهايات المغذيات feeders والكابلات حيث يمر الكابل الثلاثي 3 phase single core cable أو الثلاث كابلات فردية الطور 3 cabies single core في منتصف القلب المغناطيسي ويتم تركيب المتمم burden علي الدائرة الثانوية وبالتالي يعمل مع مجموع التيارات الثلاث أي التيار الأرضي earth current فيوفر بذلك عدد محولات التيار ليصبح واحدا بدلا من ثلاث ويقلل التيار المغناطيسي exciting current إلي الثلث تقريبا ويعطي حساسية sensitivity كبيرة لأنه في هذه الحالة يمكن الاعتماد علي الضبط الصغير low setting الفعال فعلا كما يواكب كل هذا أن المقنن في الدائرة الثانوية لن يكون كبيرا بل يقابل التيار الأرضي فقط ويكون التيار العادي أثناء التشغيل هو الصفر zero operation current وهكذا يمكن اختيار الأسلاك لتتحمل المقنن effective primary pick up current ، وفي هذا النوع يجب توصيل الجراب الخاص بالكابل مع أرضي محول التيار .

٤- محول لمجموع التيارات Summation CT

يقوم هذا المحول بجمع التيارات في الأوجه المختلفة تبعا لقاعدة محددة من قبل ويتم ذلك بتوصيل خاص عند أطراف الملفات معا كي تتصل بالمتمم أو بمحول تيار مساعد auxiliary CT .

٥- ذو الثغرة الهوائية Air gapped CT

هذه المحولات تستخدم كمحولات مساعدة auxiliary CT وتعتمد علي وجود ثغرة هوائية air gap في مسار الفيض المغناطيسي من أجل إنتاج جهد ثانوي secondary voltage يتناسب مع قيمة التيار الابتدائي ويطلق عليه أحيانا أسم or quadrature CT transactors ويستخدم بكثرة في النظم وحيدة دوائر الوقاية unit protection schemes حيث يتمتع هذا النوع بالخواص الخطية لمدى واسع

٦- محولات تيار ضخمة Over dimensioned CT

هذا النوع يصمم خصيصا لتحمل التيارات الكبيرة والتي تصل إلي قيمة تيارات القصر short circuit أو التيارات الانتقالية transient currents كي تلائم هذه الخواص ولتدخلها نطاق الخواص الخطية ويظهر فيها الفيض المحبوس remanent flux ولكنها تتميز بالقدرة علي تحمل التيارات الكبيرة .

٧- محول بدون فيض محبوس Anti remanence CT

يتم تغيير مستوي المسافات الخاصة بالثغرة في القلب المغناطيسي فيقل الفيض المحبوس من ٩٠ % إلي أن يصل إلي ١٠ % فقط وبذلك ندخل النطاق السليم للتشغيل وتظل الصفات الخطية م}ثرة وفعالة ويقابل ذلك الفيض الثابت **d. c. flux** والناتج عن عدم التماثل في التيار الابتدائي ذاته مما يقل معه الخطأ عن تلك الحالة بدون الثغرة .

٨- المحول الخطي Linear CT

إنه محول يعتمد علي الثغرة لتقليل حث **inductance** التأثير المغناطيسي وبالتالي ينقص الثابت الزمني للدائرة الثانوية **time constant** فيقل حجم المحول كما يعطي نسبة تحويل صحيحة ويعمل في منطقة خطية واسعة وهو من النوع الجوهري الذي يقع في الوسط بين النوع العادي والنوع ذو الثغرة

٩- المحول المستقل Separately mounted CT

يمثل هذا النوع وحدات حرة مستقلة **separate** حيث يتم ثني السلك الابتدائي علي شكل حرف **U** داخل عازل بورسلين **porcelain** مملوء بالزيت **transformer oil** بينما توضع ملفات الثانوي عند الجزء السفلي من حرف **U** وعادة تكون الملفات عديدة وكل منهم لها عمل مستقل وفي دائرة بعيدة عن الآخرين ، وأحيانا يستخدم قضبان مستقيمة **straight bar** كملف ابتدائي وتكون غير معزولة ولكنها توضع داخل عازل مجوف سواء من البورسلين أو غيره ويكون العزل في مستوي عزل الشبكة ذاتها وتركب الأطراف تحتها ويملأ الفراغ بعازل إما زيت المحولات أو غاز سادس فلوريد الكبريت SF_6 .

المحور الرابع : مقننات محولات التيار CT RATING

تمثل الدائرة الثانوية **secondary circuit** محورا رئيسيا للتعامل مع محولات التيار **CT** سواء من أجل القياس أو الوقاية من تيارات القصر **short circuit currents** التي عادة ما تتعرض لها الشبكات الكهربائية وحيث أنها تمثل الجزء الأكبر من الدائرة المكافئة للمحول عموما فإنها تحتاج إلي إلقاء الضوء علي الخواص الأساسية وتبعا للمواصفات الدولية المحددة لنظام التعامل مع مثل هذه الأجهزة ، وهي ما نضعها في نقاط فيما يلي :

١- التيار الثانوي المقنن Secondary Current Rating

يعتمد التيار الثانوي علي النسبة **transformation ratio** بين عدد لفات كلا من الملفات الابتدائية والثانوية وهو بذلك يتأثر بعدد اللفات الحقيقية **actual turns** وهذا العدد بالتالي يتناسب عكسيا مع التيار المار به ومن ثم تتناسب معوقة الملفات **impedance** مع مربع التيار عكسيا وحتى يقل التيار يجب زيادة المعوقة أو ما

يعني عدد اللفات number of turns ، أما أطراف التوصيل leads لهذه المحولات فتتوحد the same لكل المحولات بصرف النظر عن المقنن لها لأن هذه الأطراف تمثل الفقد الكبير في الدائرة الثانوية مما يستوجب تقصير مسافة الأسلاك المستخدمة في الدوائر الثانوية بقدر الإمكان خصوصا وفي محطات الجهد العالي حيث تتسع المسافات وتطول الأسلاك فمثلا لمسافة ٢٠٠ متر نحصل علي مقاومة تصل إلي ٣ أوم مما يستدعي زيادة البردن إلي ما يقرب من ٧٥ ف. أ. لتغطية الفقد في الأطراف، إذا كان المقنن الأصلي هو فقط ١٠ فتكون الحصيلة ٨٥ ف. أ. ويتبع ذلك زيادة الحجم ثم ارتفاع الثمن الباهظ وهذا كله من السلبيات في مثل هذه الأحوال، أما إذا خفضنا المقنن إلي ١ أ. تيار ثانوي فيقلل ذلك قدرة البردن الخاص بالأطراف إلي ٣ ف. أ. بدلا من ٧٥ ويصبح مقنن محول التيار هو (١٠ + ٣) أي ١٣ ف. أ. بدلا من ٨٥ .

كما نلاحظ تيارا كبيرا في الابتدائي يصل إلي عددا من الكيلو أمبير فينتقل كبيرا في الدائرة الثانوية ويزيد من المقنن لها فيستلزم إدخال محول تيار مساعد auxiliary CT آخر يضاف علي دائرة الثانوي للمحول الأصلي ليقل معه مقنن التيار current rating وبالتالي يقل الفقد الكلي total loss في الدائرة وهذه المقننات تتبع المواصفات القياسية فمنها ١ أو ٢ أو ٥ أمبير . وإضافة إلي ذلك فتتوحد مقننات الخروج بوحدات الفولت أمبير في القيم ٢,٥ – ٥ – ٧,٥ – ١٠ – ١٥ – ٣٠ وهي كلها ممكنة وتؤخذ بناء علي الجهد الشغال لأنها تزيد مع ارتفاع الجهد العالي .

تأتي عملية التيار الدائر circulating current في الدائرة الثانوية أساسا للتعامل مع هذه الدوائر ففي البعض يكون في الوضع المعتاد لا وجود للتيار no circulating current بينما في أحوال أخري يكون العكس ولهذا يلزم تحديد هذا التيار خصوصا عند الاعتماد علي التوصيل التفاضلي Merz Prize والمقارن وهو ما يزيد من الأهمية إذا ما كان هناك فارق في الزاوية angle displacement فتدخل في الحسبان .

٢ – معوقة الملفات الثانوية Secondary Winding Impedance

وهذه المعوقة تتبع بعض القواعد الأساسية وهي :

(أ) القلب من النوع غير الموصول jointless حلقيا بما فيها من القلب اللولبي spirally wound core

(ب) يتم لف ملفات الثانوي بمتانة بالغة وبشكل منتظم حول القلب (الدائرة المغناطيسية) ما عدا الجزء الخالي ويمثل حوالي ٢ سم وبما لا يزيد عن ٣٠° بحيث لا يقل عن المسافة المسموح لها spacing بين طرفي اللفة .

(ج) يلزم مرور لفات الابتدائي في المنتصف تماما

(د) يجب مرور لفات ملف الابتدائي علي طول المسار المغناطيسي وبالتساوي

(هـ) يجب أن تتوازى ملفات التعادل equalizing الأربعة ويلزم أن توزع علي كامل الدائرة المغناطيسية بمعدل ملف تعادل لكل ربع وذلك من أجل التوزيع المتساوي بين الملفات لتعادل تأثير المجال الناتج عن تأثير أسلاك الخروج من المحول.

وإذا لم يتحقق كل ما سبق من شروط يلزم التأكد من قيمة الخطأ المختلط بحيث لا يتعدى ١,٣ من نسبة تغير الخواص المغناطيسية exciting characteristic (جهد / تيار) .

٣- الدائرة الثانوية المفتوحة Open Circuit Secondary Voltage

عند فتح الدائرة الثانوية يتوقف مرور وظهور القوة المغناطيسية mmf ويصل التيار إلي منطقة التشبع في كل نصف دورة ذبذبة half a cycle مما يزيد من معد التغير الفيض rate of change of flux بشكل كبير ، وعندما يمر التيار الابتدائي بالصفر passing through zero يتولد جهدا كبيرا جدا في ملفات الثانوي قد يصل إلي مئات الفولت في محولات صغيرة ويصل إلي عدد من الكيلو فولت في المحولات ذات نسبة التحويل الكبيرة أثناء حدوث القصر short circuit حيث يزيد التيار مع الجهد خطيا بالتقريب . هذه الجهود خطيرة ليس علي عزل الملفات winding insulation فقط بل علي الأجهزة devices المتصلة بالدائرة إضافة إلي الخطر الأعظم لما يهدد حياة العاملين في الموقع ولهذا يلزم بصفة مشددة عمل قصر علي الملفات الثانوية باستخدام سلك مربوط جيدا في الدائرة وله مقنن يسمح بمرور تيارات القصر .

٤- مقنن التيار الابتدائي Primary Current Rating

وهو ما يصبح هاما كي يتوحد طبقا للمواصفات وتسهيلا لتصنيع manufacturing المحولات وهي تتحدد بالقيمة الأمبير مثل ٠,٥ – ٢,٥ – ٥ – ١٠ – ١٢,٥ – ١٥ – ٢٠ – ٢٥ – ٣٠ – ٤٠ – ٥٠ – ٦٠ – ٧٥ – ١٠٠ – ١٢٥ – ١٥٠ – ٢٠٠ – ٣٠٠ – ٤٠٠ – ٥٠٠ – ٦٠٠ – ٧٥٠ – ٨٠٠ وأيضا بالكيلو أمبير مثل ١ – ١,٢٥ ٣ – ٤ – ٥ – ٦ – ٧,٥ – ١٠ وبناء علي هذه القيمة تتحدد قيمة المقنن للتيار الثانوي والذي يقع في ثلاث قيم كما سبق تحديدها من قبل .

أما عن بقية النقاط الهامة لتقنين محولات التيار فنبينها في :

١- التيار اللحظي (الوقت القصير) Short Time Current

عندما تتزايد قيمة التيار بشكل هائل فأنه يمثل تحميلا زائدا overload علي الدائرة وبالتالي لا يجوز تحميلها لفترة أكثر من تلك المقننة له وهو ما يتحول إلي نوعين من التأثيرات وهي الحرارية thermal والتي لا تسمح إلا بفترات قياسية محددة مثل ٠,٢٥ أو ٠,٥ أو ١ أو ٣ ثانية أو بالتأثير الديناميكي dynamic في الفترة

المقابلة للدورة الأولي first cycle حيث تتناسب القوة الناشئة F في المتمم بتناسب عكسي مع مربع التيار فكلما زاد التيار بقلة كلما قلت الفترة الزمنية بشدة .

كما يجب توضيح أن هذه القيمة تعادل تلك القيمة RMS للمركبة المتغيرة AC component من قيمة المقنن للمحول ذاته خصوصا وأن القيمة القصوى قد تصل إلي أكثر من ٢,٥ القيمة القصوى المقننة rating في الدورة الأولي . وتتأثر جميع المقننات لمحولات التيار عند التصميم بشكل الموجات الكهربائية وأقصى ارتفاع للجهد بها voltage level ونظم التأرض للشبكة earthing system حيث يعمل محول التيار إضافة إلي حدود الجهود الفجائية transient voltages التي يتعرض لها عند التعامل مع الشبكة .

٢- اختبار محولات التيار Testing

يجب تحديد معامل القدرة عند التجربة فيكون ٠,٨ متأخر لقدرات البردن بدءا من ٥ ف. أ. وأعلي ويكون معامل الوحدة لأقل من ذلك وتنقسم أنواع الاختبارات إلي الأنواع التالية :

أولا : الاختبارات القياسية الأساسية Typical Tests

هذه الاختبارات جوهرية ويجب أن تجري لكل محول تيار قبل أن يلحق بالعمل في دوائر كهربية وهي عديدة :

١- اختبار القطبية Polarity Check

تعطي دائرة الاختبار المستخدمة (الشكل رقم ٢-١٦) انطباعا عن بساطة هذا الاختبار وهو ما يمكن أن يتم بصفة روتينية بالموقع عند كل تغيير يتم علي التوصيلات الخاصة بهذا المحول للتأكد من سلامة الترقيم الموجود علي الأطراف حيث يمر التيار بالملف الثانوي فترة انتقالية صغيرة ولكنه سوف يعطي قراءة موجبة لتحديد الاتجاه للملفات الثانوية ، خصوصا وأن الفولتميتر من نوع الملف التحرك moving coil type .

P2 S2
(−)
V
(+)
P1 S1

الشكل رقم ٢-١٦ :
دائرة اختبار قطبية ملفات محول تيار

٢- اختبار التيار للزمن القصير المقنن Short Time Current Check

٣- اختبار الحرارة Temperature Rise Test

٤- اختبارات العزل Insulation Tests :

هذا العزل يتم اختباره تبعا لمنطقة تواجده ويوحد نوعان للاختبار هما :

(أ) اختبار الومضة الكهربية Impulse Test

يجري اختبار الومضة الكهربية لاختبار عزل الملفات الابتدائية للمحولات العاملة علي الجهد العالي وهو من أنواع اختبارات الجهد الزائد كما في المعدات العاملة بالشبكة ويعرف باسم **Over voltage Test**

(ب) اختبار العزل الكهربي للملفات الثانوية **Over Inter Turn Voltage**

يتم ذلك الاختبار لعزل الملفات الثانوية بالجهد المقنن الابتدائي مع فتح دائرة الثانوي لمدة دقيقة واحدة

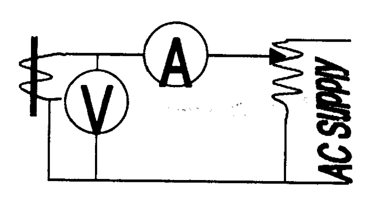
(ج) اختبار العزل الكهربي للملفات الابتدائية **Primary Voltage Withstand Test**

٥- اختبار قيمة الخطأ **Error Measurement**

وهو ما يتم بطريقتين هما :

(أ) الطريقة المباشرة **direct method**

في هذه الطريقة (الشكل رقم ٢-١٧) نجد أن الأميتر في دائرة الملفات الثانوية والمغلقة علي بردن مناسب بينما يوضع أميتر في دائرة الابتدائي لتحديد قيمة الخطأ عند قيم التيارات المختلفة أو مع تغير قيمة البردن بحيث تتحدد كلما ظهر أي تغير في القراءات أو حالات القصر كما أنه من الاختبارات الأساسية ويجب التأكد منها في المصنع ويصلح هذا الاختبار لجميع أنواع محولات التيار .



الشكل رقم ٢-١٧ : دائرة اختبار قياس الخطأ (الطريقة المباشرة)

(ب) طريقة المقارنة **Comparison Test**

هذه الطريقة مناسبة للمحولات غير القياسية ولكنها من النوع القياسي المساعد لتلك المحولات الأخرى .

ثانيا : اختبارات دورية **Routine Tests**

وهي منها التكراري مع تلك النوعية السابقة مثل :

١- اختبار القطبية **Polarity**

٢- اختبارات العزل **Insulation Test**

٣- اختبار العزل الابتدائي **HV Withstand**

٤- اختبار الخطأ **Error Determination**

الشكل رقم ٢-١٨ : دائرة اختبار الخواص المغناطيسية

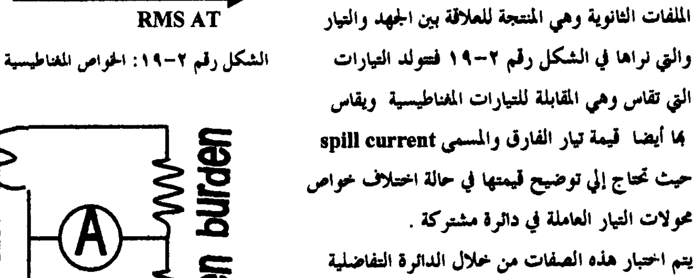
كما يوجد اختبارات أخري إضافية **More Tests** مثل :

١- اختبار الاتزان **Stability Test**

٢- اختبار عدد اللفات **Turns Ratio Test**

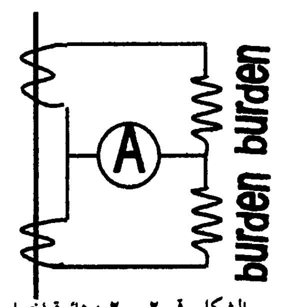
ويستخدم فيه نفس الدائرة بالشكل رقم ٢-١٧ حيث يتم رصد التيارين الابتدائي والثانوي ويحدد منهما قيمة النسبة الفعلية .

٣- الصفات المقننة المغناطيسية لمحول التيار حيث نحتاج إلي تحديد الخاصية المميزة للعلاقات الخطية وغير الخطية للقلب المغناطيسي وهو ما يتم من خلال الدائرة الواردة بالشكل رقم ٢-١٨ حيث يتم تغذية الملف الثانوي بمنبع تيار متردد علي مقاومة متغيرة وترصد القراءات لكل من الجهد علي الملفات الثانوية وهي المنتجة للعلاقة بين الجهد والتيار والتي نراها في الشكل رقم ٢-١٩ فتتولد التيارات التي تقاس وهي المقابلة للتيارات المغناطيسية ويقاس لها أيضا قيمة تيار الفارق والمسمى **spill current** حيث نحتاج إلي توضيح قيمتها في حالة اختلاف خواص محولات التيار العاملة في دائرة مشتركة .



الشكل رقم ٢-١٩: الخواص المغناطيسية لمحول التيار

يتم اختبار هذه الصفات من خلال الدائرة التفاضلية بالمقارنة مع صفات قياسية كما في الشكل رقم ٢-٢٠.



الشكل رقم ٢-٢٠ : دائرة اختبار الصفات المغناطيسية لمحول التيار

٣- محولات التيار المساعدة Auxiliary CT

نحتاج لإدخال المحولات المساعدة ضمن الدوائر لتحسين خواص الأداء للأسباب التالية :

(أ) اختلاف المقنن الخاص بالبردن عن ذلك المقنن للمحول الأصلي

(ب) الحاجة لتعويض اختلاف الزوايا بين الكميات المقارنة أو التي تدخل في جمع متجهات محددة

(ج) الضرورة لعزل دائرة عن أخري كي لا تتداخل الكميات المطلوبة معا .

٣- النواحي التطبيقية Practical

إذا صمم المحول لغرضي القياس والوقاية معا فيكون الاختيار تبعا للجداول السابق ذكرها لتحديد الدقة والحفاظ عليها في المحول المستعمل وفي هذه الحالة يكون إجمالي مجموع البردن علي الدائة الثانوية هو مجموع

البردن للمتمم وأجهزة القياس المشتركة معها ، أما ملفات التوازن فنحتاجها لهدف القياس فقط وليس الوقاية ولهذا يلزم تحديد مقنن البردن ليس بقدرتها فقط بل مضافا إليها مستوي الدقة فمثلا يكون البردن بقدرة ١٠ ف. أ. مستوى ٠,٥ بينما إذا كان الغرض هو دائرة الوقاية فيلزم إضافة معامل حدود الدقة فمثلا يتحدد بـ (10 VA class10 P 10) وذلك لزيادة التأكيد علي أهمية الغرض اللازم عند الاستخدام . وسوف نضع بعض التطبيقات التفصيلية من حيث المبدأ لمحولات التيار علي ما يلي :

(أ) قياس التيار الزائد Over current Relay

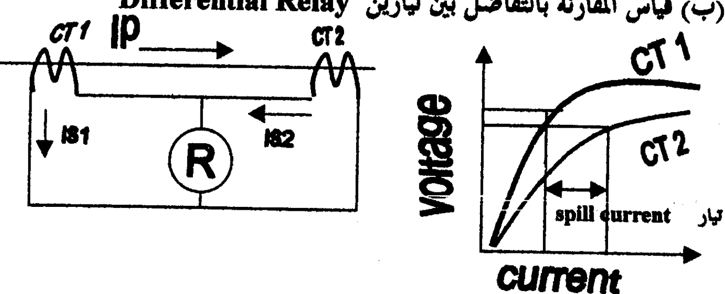
عند اختيار محول تيار ما يلزم بعض الأساسيات والتي توضع في :

– التأكد من عدم دخول المنطقة العاملة أو النقطة العاملة operating point في نطاق منطقة التشبع أو اللاخطية عموما إذا ما زاد التيار عن ٢٠ مرة مثل التيار المقنن أو التيار المضبوط عليه المتمم ولهذا نختار نسبة تحويل عالية مع مقننات البردن الصغيرة Low Burden بقدر الامكان

– مع النظم المتدرجة في التوقيت graded time lag system مع زيادة التيار يتم اختيار النسبة العالية في التحويل في بعض الأماكن بينما نختار الأخري في أماكن معينة بذات النظم .

– يتسبب التشبع عموما في تواجد الموجة التوافقية الثالثة 3rd harmonic في الملفات الثانوية فيزيد زمن تشغيل المتمم عن المحدد ولهذا يفضل محولات تيار بنسبة صغيرة كي تأخذ زمن أكبر في الأداء .

(ب) قياس المقارنة بالتفاضل بين تيارين Differential Relay



(ب) دائرة توصيل محولات التيار (أ) الصفات المغناطيسية

الشكل رقم ٢– ٢١ : دائرة الوقاية التفاضلية للتيار

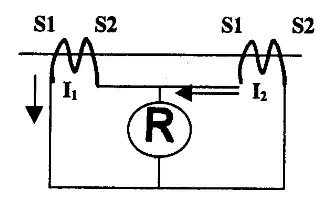
يمكننا التغلب مشكلة التشبع في محولات التيار المشتركة في وقاية تفاضلية (الشكل رقم ٢-٢١) وعلي الصفات الخاصة بها بالاعتماد علي التفاضل المدفوع Biased Differential أو بالمعوقة الكبيرة في المتممات high impedance differential relays كما أن هذه المحولات تتبع بعض القواعد مثل :

– حالة نوعية محولي التيار مختلفين

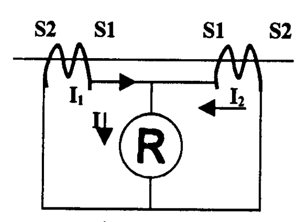
–حالة نفس المحولين ولكن التيارات مختلفة

–حالة نفس المحولين وذات التيارين قيمة مع اختلاف الزاوية بينهما

–حالة نفس النوعية والتيارات متماثلة قيمة وزاوية وهنا نتقابل مع نوعين من التوصيل فالأول إذا كانت القطبية بذات الاتجاه بينما الثاني إذا كانت معكوسة لأحدهما دون الآخر (الشكل رقم ٢-٢٢) حيث يبين أن القطبية المتماثلة وتكون المعادلة الكهربية للعقدة ومجموع تياراتها هي:



(أ) حالة القطبية المتماثلة لمحولات متماثلة



(ب) حالة قطبية منعكسة لمحولات متماثلة

الشكل رقم ٢-٢٢ : تأثير القطبية واتجاهها علي المحولات المتماثلة والناتج في تيار المتمم

$$SUM\,(\mathbf{I}_{node})=0 \qquad (2\text{-}17)$$

من هذه المعادلة نستنتج بالنسبة للشكل (أ) أن التيارين متساويين للتماثل ويدخلان ألي العقدة قبل المتمم ويجمعان فيصبح التيار المتجه والمار في المتمم I هو

$$I = (I_1 - I_2) = 0 \qquad (2\text{-}18)$$

أما للشكل (ب) عندما تنعكس القطبية فيدخل التياران نفسهما إلي نفس العقدة في اتجاه واحد نحوها وبالتالي يجمع التياران ويكون التيار المار في المتمم بصفة مستمرة هو :

$$I = I_1 + I_2 \qquad (2\text{-}19)$$

وذلك يعني أن التيار يمر بصفة مستمرة في ملفات المتمم مستهلكا الطاقة ومسببا من المشاكل التي نحن في غنى عنها ولذلك يجب الاهتمام بالقطبية واختبارها بصفة روتينية .

في كل هذه الحالات تعمل الدائرة الكهربية بالعلاقات العامة والتي تتبع الدائرة المكافئة والمبينة في الشكل رقم ٢-٢٣ حيث تختلف التيارات بشكل عام فلكل منهما تيارا فعليا actual مخالفا فنحصل علي المعادلات :

$$E_1 = I_{s1} R_1 + R_r (I_{s1} - I_{s2}) \qquad (2\text{-}20)$$

$$E_2 = I_{s2} R_2 + R_r (I_{s2} - I_{s1}) \qquad (2\text{-}21)$$

إذا أهملنا المقاومة الخاصة بالمتمم فنحصل علي هاتين المعادلتين في الصورة البسيطة :

$$E_1 = I_{s1} R_1 \qquad (2\text{-}22)$$

$$E_2 = I_{s2} R_2 \qquad (2\text{-}23)$$

ومن ثم نحصل علي :

$$K_n I_p / K_t = I_{s1} + I_{e1} = I_{s2} + I_{e2} \qquad (2\text{-}24)$$

فنصل إلي قيمة التيار اللازم لعمل المتمم وهو التيار العامل I_{ro}

$$I_{ro} = (I_{s1} - I_{s2}) = \\ = K_n I_p / K_t - I_{e1} - (K_n I_p / K_t - I_{e2}) = \\ = I_{e2} - I_{e1} \qquad (2\text{-}25)$$

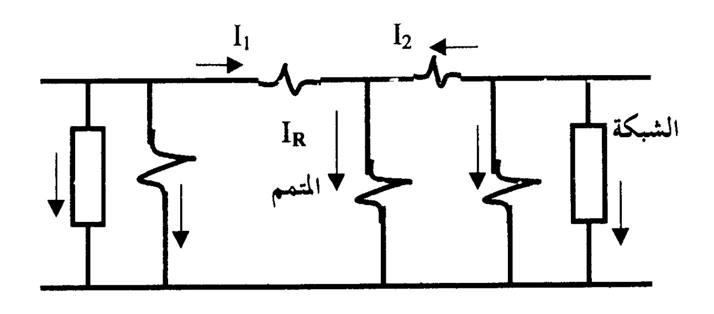
وهذا الفارق هو ما يعرف باسم spill current وتتحدد نقطة الاتزان Stability point (وهي الهامة مع التيارات الكبير وحالات الفجائيات transients في الشبكة) كما نشير إلي أن هذه الحالات الفجائية لا تهم المتمم الزمني من النوع الحث induction type لأن تشغيل المتمم في هذه الحالة يعتبر بطيئا ولذلك يجب اختيار محولات التيار العاملة في دوائر المقارنة التفاضلية بحيث تكون النسبة بين التيار الأقصى في الشبكة منسوبا إلي القيمة المقننة له في دوائر الوقاية صغيرا . من هذه القيمة مقارنة مع تيار العمل (I_r) pick up current ويكون لدينا الحالتين : ففي الحالة الأولي نجد طبقا للمعادلة

$$I_r > I_{e2} - I_{e1} \qquad (2\text{-}26)$$

وهي ما تعني أن التيار المار بملف المتمم سيحصل علي الطاقة اللازمة لأمر الفصل ، أما إذا أصبحت القيمة هي

$$I_r < I_{e2} - I_{e1} \qquad (2\text{-}27)$$

وهي ما تشير إلي توقف المتمم عن العمل لعدم الوصول إلي القيمة المطلوبة .



الشكل رقم ٢-٢٣: الدائرة المكافئة لدائرة الوقاية التفاضلية

(ج) أغراض أخرى Others

نستعرض حالتين منها :

الحالة الأولي :وقاية المسافة Distance Protection

نتعامل مع زيادة زمن عمل المتمم كثيرا عن حالة زيادة التيار المعتادة ونصل إلي نطاق التشبع فتكون الحاجة مع زيادة نسبة الحث إلي المقاومة (X/R) في الشبكة كي تزيد من أجل الابتعاد عن منطقة التشبع اضافو إلي تحسين معامل التشبع للفجائيات transient saturation factor وهذا مؤشر هام عند اختيار محولات التيار لهذا الغرض .

الحالة الثانية : وقاية الاتجاه Directional Protection

في هذه الحالة يجب الابتعاد عن منطقة التشبع أيضا حتي لاتقل الدقة ويزيد خطأ الزاوية تحديدا

المحور الخامس : الخواص الانتقالية لمحولات التيار transient performance

بما أن المحولات هذه تعمل مع ظهور حالات انتقالية مفاجئة transient فيكون التعامل مع القيمة لفترة متناهية الصغر خصوصا مع تغير التيار الابتدائي بشكل هائل لهذا يظهر من التأثير الهام علي خواص الدائرة الثانوية Response لمحولات التيار CT خصوصا مع أشكال الوقاية بالاتزان balanced forms .

يمثل التيار الابتدائي القيمة الأساسية والمطلوب تحديدها بدقة للتعرف عن حالة الشبكة وعما إذا ما كان هناك قصر أو تشغيل غير عادي يستلزم الفصل التلقائي وحيث أنا الشبكة في العادة تكون حثية المعوقة وتتصرف بهذا المبدأ وعليه يمكن التعبير عن التيار الابتدائي في صيغة عامة هي :

$$I_p = I_{max} [\sin (\omega t - \gamma) + \sin (\gamma) e^{-t/To}] \quad (2\text{-}28)$$

حيث نجد أن القيمة القصوى الثابتة تعتمد علي مكونات الدائرة الكهربائية المكافئة وتتمثل بالمعادلة :

$$I_{max} = E_p / \sqrt{[R^2 + \omega^2 L^2]} \quad (2\text{-}29)$$

وكذلك الزمن الثابت T_o للدائرة وهو المعروف باسم **time constant** ويتحدد بوحدات عدد الدورات **(in cycles)** يتبع القيمة ($T_o = L / R$) ، كما نجد الزاوية γ المضافة تأخذ الشكل :

$$\text{angle } \gamma = \text{system p. f.} - \text{initial angle at moment of fault} \quad (2\text{-}30)$$

تتكون معادلة التيار الابتدائي من جزأين الأول هو الشكل الموجي المعتاد بينما الثاني يمثل الحالة الانتقالية وبمعامل تخفيض لأنه سالب ليعود هذا الحد إلي الصفر بعد فترة زمنية قد تكون طويلة أحيانا وتصبح عند قيمة الزاوية $\pi/2 = \gamma$ وهذه هي حالة أقصي قيمة للتيار الانتقالي ، فتصبح المعادلة السابقة في الصورة :

$$i_p = I_{max} [\sin (\omega t - \pi/2) + e^{-t/To}] \quad (2\text{-}31)$$

المعروف أن الفيض في ملف ما يعتمد علي الجهد المسلط عليه وبالتالي نتبع المعادلة :

$$\Phi = K \int v\, dt \quad (2\text{-}32)$$

حيث ϕ_1 يمثل الفيض الناتج عن الجزء الأول بينما ϕ_2 تعطي الفيض الناتج عن الحد الثاني ومن ثم تتحول المعادلة السابقة إلي الشكل التكاملي :

$$\Phi = K\ R_b I_s \{ \int_{\pi/\omega}^{3\pi/2\omega} \sin (\omega t - \pi/2)\, dt + \int_0 e^{-t/To}\, dt \} \quad (2\text{-}33)$$

وهو ما يصل إلي الشكل المبسط :

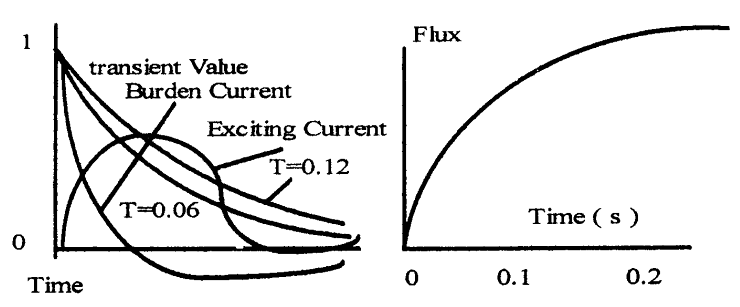
$$\Phi = K\ R_b I_s\ \Phi_1 (1 + \omega T_o) = K\ R_b I_s\ \Phi_1 (T.F) \quad (2\text{-}34)$$

where

$$\Phi_2 / \Phi_1 = \omega L/R = \omega\ T_o$$

$$T.F = \text{Transient Factor} = (1 + \omega T_o)$$

وقد ظهر معامل الانتقاليات ليجعل الفهم أسرع مبينا ذلك في شكل منحنيات كما نراها في الشكل رقم ٢-٢٤ لحالة توصيل معوقة لا نهائية في الدائرة الثانوية في حالة الثابت الزمني بمقدار ٠,٠٦ ثانية .



الشكل رقم ٢-٢٤ : صفات التيار الابتدائي غير المتماثل الشكل رقم ٢-٢٥ : صفات محول التيار

عند توصيل معوقة متوازية لا نهائية ($T_o = 0.06$ s)

وحيث أن التيار المقنن في الدائرة الثانوية يكمن في التعبير الرياضي :

التيار المقنن بالدائرة الثانوية i_s = التيار المغناطيسي i_e + التيار الثانوي الفعلي i_{sa} (٢-١٢)

ومن ذلك حيث التيار الفعلي يمر بالبردن ذات المقاومة R_b ففي حالة الانتقاليات نحصل علي :

$$L_e\, d\, i_e / dt = R_b\, i_s \qquad (2\text{-}35)$$

وهذه العلاقة الأساسية للزمن الانتقالي تدخل في الحسبان فنحصل علي المعادلة التي تخص الدائرة الثانوية في :

$$d\, i_e / dt + R_b\, i_e / L_e = R_b\, i_s / L_e \qquad (2\text{-}36)$$

كما تعطي هذه المعادلة الحل العام لها في الصورة :

$$i_e = I_1 \{ T_o / (T_1 - T_o) \} \{ e^{-t/T1} - e^{-t/To} \} \qquad (2\text{-}37)$$

بينما يعرض الشكل رقم ٢-٢٥ حدود هذه المعادلة ويقدم الصفات الانتقالية للتيار غير التماثلي في محولات التيار حيث أن الثابت الزمني للدائرة الأولية (network) هو T_o ويعادل القيمة ٠,٠٦ ثانية إضافة إلي الثابت الزمني للدائرة الثانوية والذي ظهر في المعادلة من خلال الرمز T_1 وهو يساوي ٠,١٢ ثانية وتحدد القيمة للتيار I_1 والممثلة للمركبة الموجبة للتيار الأقصى في الدائرة الثانوية لمحول التيار .

وجدير بالذكر أن الموجات التوافقية **harmonics** قد تظهر أثناء الفترات الانتقالية **transient duration** نتيجة التشبع **saturation** في خواص محولات التيار **CT** وما يتبعه من تشويه **distortion** للموجات

المنتظمة فيظهر التوافق الثاني harmonic 2nd والثالث 3rd بتأثير كبير بينما يمكن إهمال تأثير البقية مما ينعكس علي حساسية sensitivity الجهاز المتمم .

أخيرا نجد خلافا بين تلك المعادلات والواقع الفعلي لحدوث القيمة الفجائية للتيارات وقت حدوث القصر وذلك للأسباب الآتية :

١- عدم حساب قيمة الحث للمعوقة البردن burden inductance

٢- عدم حساب قيمة الحث في الملف الثانوي لمحول التيار secondary inductance

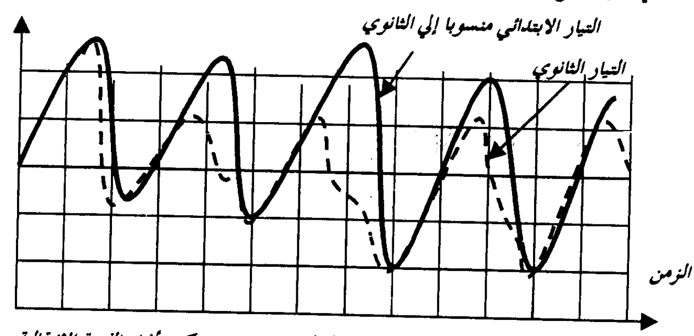
٣- عدم التعامل مع الفقد الحديدي iron loss في القلب المغناطيسي فيقل الثابت الزمني time constant في الدائرة الثانوية مع تغير قيمة المقاومة والتي تهمل في الحساب لتبسيط الحل

٤- الاعتماد علي الصفات الخطية linear بالرغم من الدخول إلي منطقة التشبع saturation والتي تتجزأ أحيانا إلي خطوط متتالية multi line system للتقريب من الواقع

٥- التيارات المغناطيسية hysteresis effect لا تدخل في الحسبان وما يؤدي إلي تغير الحث في الدائرة loop فيتغير معه الثابت الزمني والمحدد ثابتا من قبل

٦- ظهور المركبة الثابتة للتيار direct current تساعد علي زيادة الفيض المتوسط mean flux لعدد من الدورات وما يتبعه من تأرجح swing حول القيمة المتوسطة

٧- ارتفاع قيمة التيار المغناطيسي نتيجة قلة قيمة الحث أثناء الفترة الانتقالية وما يرافقه من فقد كبير وتدخل أحيانا إلي حيز التشبع زمنيا فيزيد من البعد عن الدقة



الشكل رقم ٢-٢٦ : التيار الثانوي لمحول تيار وبه تشوه كبير أثناء الفترة الانتقالية

يري في الشكل رقم ٢-٢٦ التباين بين تياري الملف الابتدائي والثانوي لمحول تيار حيث الفيض المتبقي صفرا Zero residual flux والبردن مقاومة فقط resistive burden في شبكة لها ثابت زمني قدره ٠,٠٥ ثانية حيث يظهر تشويه distortion كبير في الشكل الموجي في الدائرة الثانوية وذلك نتيجة الدخول إلي منطقة التشبع saturation في العلاقة بين الجهد والتيار exciting characteristic بالنسبة لمحولات التيار.

٢-٣ : تمارين Problems

2.1- In an isolated star 220 kV network, an individual 200 VA, 220000 / 110 turns ratio VT per phase is installed. Assume the impedance of each side and take the burden as 5 VA in order to detect the residual voltage. Try to calculate the residual voltage at unbalance of phases.

2.2- In a delta 66 kV network, an individual 150 VA, 220000 / 110 turns ratio VT per phase is installed. Assume the impedance of each side and take the burden as 2 VA in order to detect the residual voltage. Try to calculate the residual voltage at unbalance of phases.

2.3- In an earthed star 440 kV network, an individual 200 VA, 440000 / 110 turns ratio VT per phase is installed. Assume the impedance of each side and take the burden as 7 VA in order to detect the residual voltage. If the neutral point is connected through a 5 Ω resistive impedance, find the residual voltage at unbalance of phases.

2.4- For a solidly earthed star 11 kV network, a 3 phase 50 VA, 11000 / 110 turns ratio VT unit is installed. Assume the impedance of each side and take the burden as 2 VA in order to detect the residual voltage. If the phase voltages are 11, angle 0^o, 10 angle 100^o and 7 with 200^0, deduce the required setting for this limit condition of unbalance.

2.5- A 66000 / 110 V, 150 VA VT is installed at the 66 kV side for the burden of 10 VA where the nominal output of VT is 110 V. The secondary impedance is 0.5 + j 1.2 k Ω and the magnetic branches are 0.2 and j 17 M Ω, referring to the secondary side, obtain :
(a) The rated primary current

(b) The suitable HRC fuse on primary side
(c) The rated secondary current
(d) The errors in the limits of operation of the equivalent circuit
(e) If the resistive part of burden is neglected, calculate the error and give the vector diagram
(f) If the burden is only resistive, calculate the error and give the vector diagram

2.6- A CT (300 / 5 A) is installed on the primary circuit of 11 kV with rated current of 300 A. The magnetizing equivalent is assumed to be resistive 140 Ω with a burden of 10 VA resistive, too, and it is required to evaluate :
(a) The equivalent primary impedance
(b) The impedance value of the burden in Ω
(c) The error in the actuating current

2.7- A CT (200 / 1 A) is installed on the primary circuit of 66 kV with rated current of 200 A. The magnetizing equivalent is assumed to be 130 and j 50 Ω with a burden of 15 VA resistive, too, and it is required to evaluate :
(a) The equivalent primary impedance
(b) The impedance value of the burden in Ω
(c) The error in the actuating current

2.8- A 500 / 5 A CT in connected in the primary circuit of 220 kV at a rated nominal primary current of 500 A where the burden on secondary circuit of CT winding is 10 VA. The secondary impedance may be approximated as 02 + j 0.2 Ω. The magnetizing branches may be considered as j 50 and 150 Ω, then find :
(a) The primary impedance
(b) The limits of secondary impedance
(c) The limits of burden current
(d) The maximum and minimum error in the current

2.9- Discuss the type of errors in the value of current as well as the displacement effect in the CT and compare this condition with the case of voltage in the VT. Give your view for the subject as a whole.

2.10- For a 50 Hz, 11kV, distribution system, a 100/5 A CT is installed and the secondary current of peak value is 50 A with a time constant of 0.12 s. Find the transient term of exciting current.

2.11- A 500/ 5 A CT has been installed per each phase in a 50 Hz power system at 220 kV if the system inductance is 3 mH and the resistance of the system is 5 Ohms, deduce the transient primary current when a fault is occurred at 30o moment.

2.12- Compare between types of CT in networks either for measurement or for protection purposes.

2.13- Give only the differences between CT and VT in power systems for protection purpose

2.14- Compare between the use of fuses in both circuits for either CT or VT and prove mathematically (if possible) the governing formula for each of them.

2.15- Explain in details the types of error in the measuring instruments CT and VT and formulate this error. Also, indicate the reasons for such error. Put a solution for each error if possible.

المتممات الديناميكية

ELECTROMECHANICAL RELAYS

تلعب المتممات الديناميكية الدور الأساسي في ملعب الوقاية منذ القدم وتعتمد عليها الشبكات القومية والموحدة والخاصة علي حد سواء وقد أدت عملها بكفاءة ونوجز هنا الخصائص المميزة لها وأسس التعامل معها لأنها تقوم بعملها علي أكمل وجه بالرغم من تقادمها وظهور الأجيال الأحدث كما أنها من المبادئ الأولية لفهم موضوع الوقاية في الشبكات الكهربائية ولهذا نضع هذا الفصل في بداية الدخول إلي موضوع الوقاية ككل وبشكل عام كي يتفهم الطلاب الدارسين لهذا المنهج سواء في كليات الهندسة أو المعاهد العليا أو حتي المهندسين المتعاملين مع هذه الأجهزة كل المبادئ اللازمة لمثل هذا العمل.

٣-١ : مبادئ التمييز Discrimination base

نحتاج إلي التمييز ضمانا لأفضل أداء للشبكة ككل تحت كل الظروف سواء كان التشغيل العادي أم الظروف الطارئة والأخطاء الخارجية ويحدث عادة التشغيل الخاطئ نتيجة لثلاث أسباب هي :

١- التصميم الخاطئ Incorrect Design

٢- التركيب الخطأ Incorrect Installation

٣- التأثير الزمني علي الجهاز أو المعدة Deterioration

ولهذه الأسباب نحتاج إلي منظومة متكاملة للوقاية ضد الأخطاء والأخطار علي عدة محاور وهي :

المحور الأول : حماية المكونات المختلفة داخل الشبكة الموحدة Component Protection

نستطيع تحقيق هذا الهدف من خلال وضع أجهزة محددة لكل مكون من تلك الداخلة في تشكيل الشبكة الكهربية ضمانا لعدم تلفها ويجب أن تكون كافية وتضع كل الاحتمالات والاعتبارات التي تواجه مثل هذه

المعدة كما أنه لا يجب أن تتعارض هذه الوسائل المستخدمة مع بعضها البعض بل يلزم أن تكون مكملة ومتكاملة معا .

المحور الثاني :حماية الأحمال العاملة بالشبكة مع ضمان استمرارية العمل السليم Protection of Loads

يتم تقسيم الأحمال حسب دورها في الأهمية إلي مستويات نوضحها إيجازا كما يلي :

المستوى الأول First Level ويشمل عددا من الدرجات الداخلية مثل :

١- الاجتماعات الرئاسية وكافة الأعمال الخاصة بها
٢- مكاتب المسئولين والقادة
٣ - البرلمانات
٤- المناطق العسكرية

المستوى الثاني Second Level ويشمل تلك الأماكن ذات الأهمية القصوى مثل :

١- المناطق الأمنية
٢- المناطق الصناعية الهامة
٣- الملاعب الدولية
٤- قاعات الاحتفالات الرسمية

المستوي الثالث Third Level ويتضمن :

١- الأحمال المنزلية
٢- الأحمال الإدارية والحكومية

المحور الثالث : حماية العاملين في الشبكة Worker Protection

تعني عملية الحماية بالدرجة الأولي بالعاملين في مناطق التعامل مع الشبكة وعلي كافة المستويات ويلزم تطوير مستوي الأداء لهم وذلك من خلال :

١- الإطار الإداري والفني ونظم العمل ٢- التدريب المستمر لرفع كفاءة العمل ببرامج التنمية الإدارية

المحور الرابع : حماية المتعاملين مع الشبكة Human Protection

يجب وضع الضمانات الفنية لأي من المتعاملين سواء كانوا علي علم ودراية بالكهرباء أو لا مما يستوجب وضع كافة الأجهزة اللازمة لحماية أي شخص يقترب من هذه الشبكة حرصا علي حياته

أولا : الشكل العام للتمييز General Discrimination

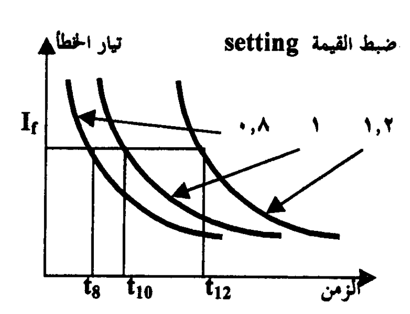
لا بد من توافر عددا من الصفات المحورية في أي من الأجهزة أو الأدوات المستعان بها في نظم الوقاية وهي تلك الصفات التي نلخصها علي النحو التالي :

١- السرعة Quickness Speed

تنقسم إلي نوعين من السرعة من حيث وقت الفصل التلقائي وهي :

(أ) وهو الفصل السريع **quick** والذي نكون في حاجة إليه في الأماكن ذات الطاقة الكبيرة مثل محطات الجهد العالي وتتمثل في نوعين هما الفصل الفوري **Instantaneous tripping** وكذلك الفصل محدد الزمن **Definite time lag tripping**

(ب) وهو الفصل البطيء (المتأخر) **slow** والذي نحتاجه في شبكات التوزيع حيث المستهلكين والمتعاملين مع الشبكة من غير المتخصصين وهنا تظهر الخواص سابقة التفصيل بأنواعها المختلفة وهو ما يميز أجهزة الوقاية ، ففي الشكل رقم ٣-١ نري أنه لنفس تيار الخطأ الواحد **same fault** إمكانية الفصل في أوقات متعددة حسب الأحوال وتبعا للمزمن المستخدم **timer** ، كما أنه يتضمن كلا من النوع المتغير بالزمن المتأخر **Inverse time lag tripping** وكذلك الفصل الهام في بعض الأماكن المحددة وهو ذو الزمن المتأخر بقيمة أدني **Definite minimum time tripping** .



الشكل رقم ٣-١ : تأثير ضبط المتمم الزمني علي سرعة الفصل

٢- الاتزان Stability

هي تلك الصفة الأساسية لتواجد أي منظومة عمل كي تعطي كفاءة وجودة لها وهنا هذا من أهم الصفات المطلوبة في نظم الوقاية كل علي حدة والكل معا في آن واحد ويجب أن تكون المنظومة متزنة الأداء تحت كل الظروف بشكل عام وتحت تلك الظروف الخاصة بالفصل التلقائي عند حدوث القصر أو الخطأ بشكل خاص أو حتي في الحالات الانتقالية والتي تتضمن كلا من تيارات البدء في المحركات وتيارات الدفع في المحولات إضافة إلي حالات التوصيل والفصل في الشبكة بوجه عام .

٣- البساطة Simplicity

وتتضمن تلك الصفة العديد من الصفات الفرعية والتي يجب أن تتوافر بوضوح في هذه الأجهزة وهي :

(أ) سهولة متابعة الدوائر الكهربية والأطراف في التجارب الدورية

(ب) سهولة التأكد من سلامة الوصلات والأسلاك

(ج) سهولة رؤية الأخطاء الظاهرية

(د) بساطة الصيانة

(هـ) عزل الدوائر المكشوفة عن المتعاملين

(و) بساطة الاختبارات اللازمة

٤- الاختيارية Selectivity

وهي تتضمن كلا من :

النوع ذو الزمن المتدرج في الفصل time graded systems كنوع من التمييز

النوع المتتابع في نظم الوقاية في شبكات التوزيع المحلية unit systems وهو المتميز بالسرعة نوعا ما fast في الفصل أو السرعة المحددة للفصل

ولكل من النوعين يجب تحديد المكان القريب من الخطأ للفصل السريع ثم من يليه كما يتم الاختيار تبعا لنوع الخطأ (شدة التيار) من ثلاثي الأوجه أو غيره ويدخل في هذا النطاق كلا من الدوائر الموجبة positive والسالبة negative phase sequence والصفرية zero sequence .

٥- الاعتمادية Reliability

وهي الصفة التي تعني ضمان استمرارية التشغيل دون انقطاع وكلما ارتفعت هذه الدرجة كان مستوى التميز أعلى وأفضل وهي من النقاط الجوهرية لتلبية احتياجات المستهلك أو المشتركين .

٦- الحساسية Sensitivity

هذه الحساسية تشير إلي مدي قدرة المتمم علي تمييز تيار الخطأ أو تيار التشغيل العادي في حالة التيار وبالمثل للجهد أو القدرة وغيرها لأنه في بعض الحالات لا يستطيع الجهاز التفرقة بين حالتي التشغيل العادي أو الطارئ وحالة القصر أو الخطأ وعندئذ نحصل علي الحالات التالية المحتملة :

(أ) حساسية دائما منخفضة

(ب) حساسية دائما عالية

(ج) حساسية دائما عالية ولكنها تنخفض أحيانا

(د) حساسية دائما منخفضة بينما تكون مرتفعة جدا في بعض الأحوال

ولذلك يجب أن تتوافر صفة الحساسية في كلا النوعين وهما :

النوع الأول : المتمم وفي هذه الحالة يلزم اختيار النوع من المتممات الذي يستطيع توفير القيمة الأعلى من الحساسية إضافة إلي اختيار القيمة تحت القياس كي توفر حساسية وتفرقة واضحة بين الحالتين.

النوع الثاني : ويخص حساسية دائرة الوقاية وتتبع القدرة المستهلكة في دائرة الوقاية عند القيمة الدنيا للتيار الفعال فيها حيث تصبح الحساسية عالية خصوصا وأن العلاقة الرياضية بين القدرة والتيار هي :

$$I^2 \ Z\,(relay) = \quad (VA)_b \qquad (3\text{-}1)$$

٧- الإخطارية Signaling

يلزم أن تتوافر في المتمم أو دوائر الوقاية كل علي حدة أو مجتمعة نوعي الإخطار وهما :

(أ) عملية الإعلان عن وجود الخطأ بشكل مميز أيضا عن بقية الحالات فتكون السرينة المزعجة صوتيا بجانب الإشارة الضوئية المتقطعة

(ب) توفير نوع تنبيه محدد لكل عملية تغيير عن الحالة السابقة وهو ما يتم من خلال الجرس العادي أو بأسلوب الضوء المتقطع

(ج) تحديد مكان الخطأ في الدائرة الأم بالشبكة من خلال الإخطار المرئي تسلسليا داخل حجرة التحكم بسهولة وبساطة .

٨- قابلية الإضافة Extension ability

نحتاج إلي مثل هذه الصفة لتواكب التغير المستمر في حجم الشبكة ويلزم هنا بعض الشروط عند الإضافة وهي :

(أ) سهولة الربط بين القديم والجديد

(ب) عدم التداخل بين الوقاية القديمة والجديدة

(ج) إمكانية الضبط المتتابع لرفع مستوى الحساسية

ثانيا : التمييز في دوائر الوقاية Discrimination in Protective Circuits

تتكون دوائر الوقاية من مجموعة المتممات ومحولات القياس وكذلك منبع الجهد معا في دائرة واحدة ذات صفات محددة وهو ما يعطي لها صفة دائرة وقاية ، ولهذا يجب أن تتميز كل دائرة وقاية بمميزات خاصة وهي:

١- أن يتمتع كل متمم بداخل الدائرة بالخواص السابقة في البند السابق (أولا)

٢- بساطة الدائرة الكهربية مما يؤدي إلي بساطة التفتيش الهندسي عليها أو ما ينعكس علي أعمال الصيانة الخاصة بها فيجعل التعامل مع الدائرة بسيطا وسريعا ودون مجهود.

٣- أن تكون قليلة الفقد الكهربي للتشغيل أثناء الفصل التلقائي حتى تعطي الفرصة لمنبع التيار والجهد بتوفير القدرات المختلفة لكافة الدوائر والتي تعمل غالبا في آن واحد

٤- أن تكون غير مستهلكة للطاقة وقت التشغيل العادي للشبكة الكهربية أو أن تكون عند أدني مستوي لاستهلاك الطاقة في الحالة الساكنة لدائرة الوقاية

٥- أن تكون الدائرة ذات حساسية عالية للغرض المناط بها

٦- أن تكون الدائرة ذات تصميم يسهل الاختبارات الدورية بدون عائق

٧- عدم التكرار بين أغراض الفصل أو وسائل الفصل

٨- الاتزان الكامل أثناء التشغيل

بناءا علي ما سبق نجد أن دوائر الوقاية تعمل علي محورين هما :

المحور الأول : التمييز لنوع الخطأ Type of Fault

هذا النوع من التمييز يتحدد علي ضوء نوع الخطأ الحادث في الشبكة وهو ما ينقسم إلي فرعين :

الفرع الأول :خطأ مع الأرض Fault To Earth

يختص هذا النوع بالخطأ ذو الاتصال مع الأرض في حالات الخطأ والتي تسمح بمرور التيار في الأرض وهو المعروف باسم المركبة الصفرية zero sequence current أو يتسبب في ظهور جهد علي نقطة التعادل وهو ما يسمى باسم residual voltage at neutral point وفي أي منهما نجد أن التعامل معهما يمثل حالة طارئة غير مستقرة ويجب إعادة الأوضاع إلي حالة التشغيل العادي . وتعتمد هذه التيارات علي عدد من العوامل هي مقاومة التربة التي يمر بها التيار (وتتراوح من ١٠ أوم متر للتربة الرطبة عضوية التكوين إلي ١٠٠ للرطبة و ١٠٠٠ للجافة و١٠٠٠٠ للصخرية ويمكن تقليل المقاومة بإضافة مواد كيميائية مثل البتونيت أو الماركونيت أو كلوريد الصوديوم وأحيانا كبريتات الماغنيسيوم) ودائرة المركبة الصفرية والتي تعتمد علي شبكة التأريض والتي تتنوع بشكل كبير حسب حجم الشبكة والتيارات الصفرية لها . كما تظهر أهمية أسلوب التأريض للشبكة الأصلية وهو ما ينحصر في التأريض المباشر حيث يتم الإتصال مع الأرض مباشرة إما من خلال مقاومة أو ممانعة أو ذلك النوع من التأريض من خلال محول وفي جميع الأحوال نصل إلي تقليل قيمة التيار الصفري بقيمته الدنيا الممكنة .

ع الثاني : خطأ بعيدا عن الأرض Fault without Earth

هذا النوع الخطأ غير المتماثل ويأتي بتيارات لا تشمل المركبة الصفرية ويتسبب عنها أوضاع خطرة علي
ات والمولدات والمحولات العاملة بالشبكة ومنها تلك الحالة عندما يظهر النظام السالب

ع كلا من الفرعين السابقين إما إلي خطأ متماثل symmetrical أو خطأ غير متماثل
unsymmetric ففي الخطأ المتماثل وهو القصر ثلاثي الوجه وهو إما أن يكون متصلا مع الأرض (
ع الأول) أو قصر بين الأوجه فقط دون الأرض (الفرع الثاني) وكذلك يتم تصنيف النوع الثاني من
ا غير المتماثل أي خطأ غير متماثل متصل مع الأرض (الفرع الأول) أو غير متصل مع الأرض (الفرع
ي) . وبالتالي نستطيع وضع نوع الخطأ في الشكل التالي :

قصر متماثل مع الأرض (٣ أطوار مع الأرض)

) قصر غير متماثل مع الأرض ويشمل وجه واحد مع الأرض أو وجهين مع الأرض

، قصر بدون الأرض بين الأطوار الثلاث أطوار

- قصر بدون الأرض غير متماثل ويشمل وجه مع آخر

ور الثاني : التمييز لمكان الخطأ Fault Location

من الناحية الأخرى فنجد دوائر الوقاية قد تختص بأداء عمل محدد للتمييز عن مكان الخطأ كدائرة وقاية
ستقلة فنجد ذلك يتمثل في :

الوقاية التفاضلية Differential Protection وهي لحماية الملفات سواء في المولدات أو
ولات لتحديد مكان الخطأ إذا ما حدث داخل الملفات نفسها

،) الوقاية لاتجاه التيار أو القدرة Directional Protection لتحديد مكان الخطأ بما يغير اتجاه
يان القدرة لتصبح في اتجاه الخطأ بدلا من الاتجاه الصحيح

ج) الوقاية للمعوقة (المسافة) Distance Protection لتحديد مكان الخطأ أو القصر علي طول
سار خطوط نقل الطاقة أو المغذيات أو الكابلات وهي كلها ذات صفة المسافة الطويلة .

لحور الثالث : التمييز الزمني Clearance Time

ا علي هذا المحور فنجد دائرة الوقاية المختصة بحساب الزمن اللازم للفصل التلقائي كدائرة مستقلة يمكن
مها بعد ذلك داخل منظومة الوقاية . وداخل هذا المحور نتعامل مع الزمن ذو العلاقات المختلفة والتي يتبعها

المتمم الزمني timer كما يتم توزيع هذا الزمن علي نظم الشبكات الكهربية ذاتها فنجد الزمن المتدرج مع الشبكات الحلقية والزمن المتدرج أيضا مع الاعتماد علي تحديد اتجاه واحد لسريان القدرة والزمن المتتابع مع شبكات التوزيع ويضاف إلي ذلك زمن المصهر في العمل خصوصا علي مستوي التوزيع والجهد المنخفض .

ثالثا : التمييز في منظومة الوقاية Discrimination in Protective Systems

تتكون منظومة الوقاية من عدد من دوائر الوقاية ولذلك فإنها لابد وأن تشمل دوائر ذات تميز وخواص كما ذكرت في البند السابق (ثانيا) إضافة إلي عددا من الصفات الهامة وهي :

١- عدم التداخل بين الدوائر لها
٢- دقة الاختيارية للأداء فيها
٣- تحديد مناطق الوقاية بين الدوائر فيها سهولة الاختبار

بعد هذا الإيجاز فاصبح تحت هذا العنوان من المتاح الربط بين دائرة وقاية ذات تمييز مكاني مع أخري ذات تمييز لمكان الخطأ أو لنوعه أو لثلاث معا وبذلك يظهر نوع التمييز هنا مع منظومات الوقاية من النوع المختلط لنوعين أو أكثر من تلك التي وردت في دوائر الوقاية .

رابعا : التمييز لنظم الوقاية بالموقع Discrimination in Protective Gear

تتجمع كل النظم التي تتعامل مع المحطة أو الشبكة في موقع ما في هذا النمط من المسمى ولذلك ينبغي توافر الخواص التالية فيها :

١- تحديد الفواصل بين مناطق الوقاية وزمن فصل كل منها
٢ - دقة الاختيارية
٣- استكمال الوقاية الاحتياطية للمنطقة ككل
٤- سهولة الاختبار

في النهاية نجد أن التمييز في أسلوب الوقاية ككل يخضع لبعض الأبعاد نحددها فيما يلي :

١- البعد الزمني وهو ما تم شرحه باستفاضة ولا يحتاج إلي المزيد

٢- بعد المسافة ويعتمد علي ثلاث أنواع وهي الاتجاه أو النوع المرحلي أو الوقاية الاحتياطية Back up

٣- بعد القيمة value ويوضع بثلاث مجالات وهي إما داخل أو خارج نطاق القيمة أو علي النطاق تماما

٤- بعد الفصل الخاطئ False tripping وهو ما يشير إلي حالتين أما إعادة التوصيل reclosing أو عدم إعادة التوصيل علي وجه الإطلاق وبالنسبة لحالة إعادة التوصيل فله طريقان هما إعادة التوصيل التلقائي كما في شبكات الجهد الفائق أو إعادة التوصيل اليدوي مثل كابلات التوزيع الكهربي والمغذيات

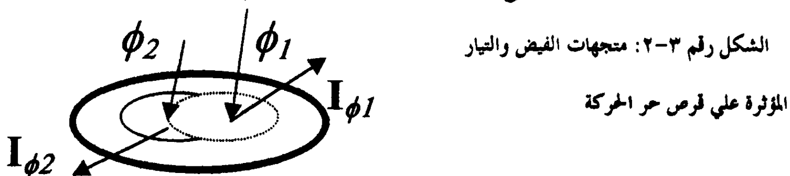
٥- البعد المختلط mixed وهو أسلوب التعامل مع كل الأبعاد السابقة بشكل أو بآخر .

٣-٢ : أنواع المتممات Types of Relays

تتباين أنواع المتممات التقليدية علي نطاق واسع وهي جميعها ذات أهمية في دوائر الوقاية عموما ولهذا سنطرح أهم هذه الأنواع شيوعيا في السطور التالية من حيث المبدأ والفهم الصحيح لها مما يجعل الموضوع سهلا في الفهم للقارئ حديث العهد بهذا العلم .

أولا : المتمم التأثيري Induction Relay

وهو من النوع المستخدم لدوائر التيار المتردد فقط لأنه يعتمد علي التأثير الحثي بين المغناطيسية المتولدة في ملف كما بالنسبة للمحولات ولذلك لا يصلح للتيار الثابت ولهذا نري الشكل رقم ٣-٢ يبين العزم الناشئ من



الشكل رقم ٣-٢: متجهات الفيض والتيار المؤثرة علي قرص حر الحركة

تواجد نوعين من نوعي الفيض المغناطيسي ϕ_1 , ϕ_2 وهما المؤثران علي حركة القرص ولهما القيمة القصوى ϕ_{1M} , ϕ_{2M} علي التوالي حيث تم تحويل التعبيرات الرياضية التناسبية إلي معادلات لها ثابت التناسب (K) وهي تلك التي تبين معها العلاقة الرياضية التالية فنجد العزم المؤثر علي القرص هو :

$$T = (K)\ \phi_1\, \phi_2 \sin \alpha \qquad (3\text{-}2)$$

وتظهر الزاوية α بين كلا من الفيضين في المعادلة تبعا للذبذبة ω بالمعادلتين :

$$\phi_2 = \phi_{2M} \sin \omega t \qquad (3\text{-}3)$$

$$\phi_1 = \phi_{1M} \sin (\omega t + \alpha) \qquad (3\text{-}4)$$

ومن ثم تكون التيارات الناتجة عن الفيض هي :

$$I_{\phi 2} = (K)\ d\phi_2/dt = (K)\ \phi_{2M} \cos \omega t \qquad (3\text{-}5)$$

$$I_{\phi 1} = (K)\ d\phi_1/dt = (K)\ \phi_{1M} \cos (\omega t + \alpha) \qquad (3\text{-}6)$$

وبذلك تكون القوة المؤثرة F علي القرص الحر عبارة عن القوتين ويأخذان الشكل :

$$F_1 = (K)\ \phi_1\, I_{\phi 2} \quad \& \quad F_2 = (K)\ \phi_2\, I_{\phi 1} \qquad (3\text{-}7)$$

وتكون محصلة القوى المؤثرة علي حركة القرص هي

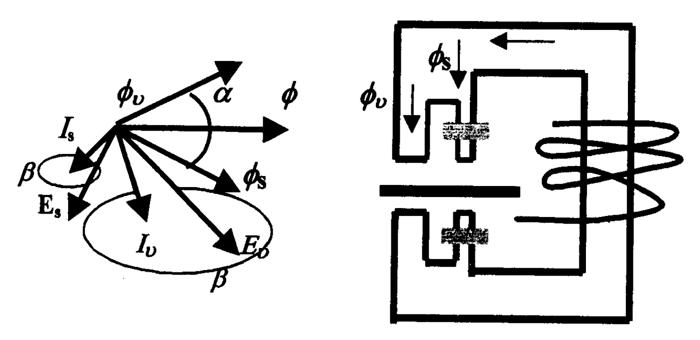
$$\text{Net force} = (K)\ (F_1 - F_2) = (K)\ \phi_1\ \phi_2\ \sin\ \alpha \quad (3\text{-}8)$$

ويشمل هذا النوع كلا من

١ – البناء القطبي المظلل **shaded pole structure** حيث يعتمد علي المتجهات كما نراها في الشكل ٣– ٣ والتي تتعامل معا لتعطي الحركة الدائرية المطلوبة والتي تؤثر في مشوار الحركة ويكون العزم الناتج هو

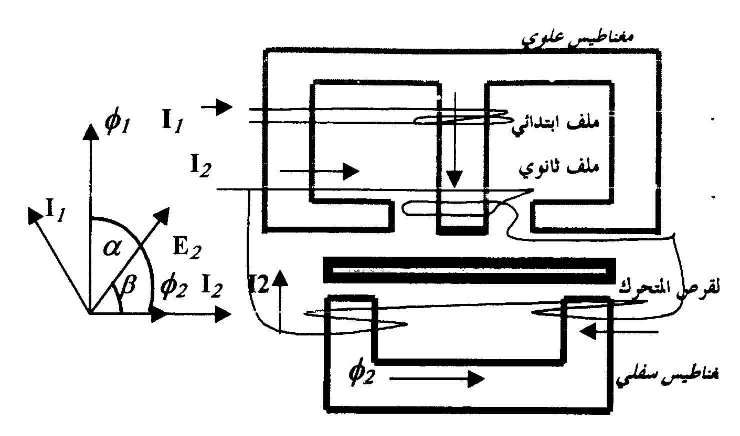
$$T = (\text{constant})\ I^2\ \sin\ \alpha\ =\ k\ I^2 \quad (3\text{-}9)$$

حيث نجد التأثير الشديد لزيادة قيمة التيار علي ناتج الحركة المؤثرة علي القرص الدوار في المتمم وبالتالي الحصول علي تأثير فعال لتواجد التيار المراد عزله بسرعة .



الشكل رقم ٣–٣ : المتمم ذو القطب المظلل

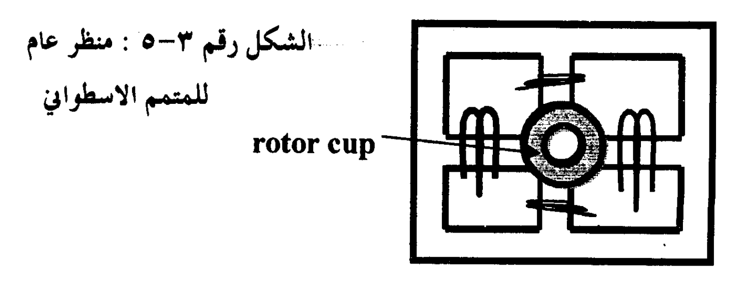
٢– مقياس الطاقة **watt hour meter** وهو ما يعرف في مجال القياس الكهربي بالبناء ذو الملفات المزدوجة **double winding structure** وهو ذات الجهاز المستخدم لقياس الاستهلاك الكهربي في المنازل والمصانع ويعتمد علي الفرق في الزاوية بين مجالين مؤثرين علي قرص حر الحركة باستخدام قطب منقسم إلي نصفين ويوضع علي أحدهما ملفات تعطي فيضا غير الأصلي وبذلك يظهر فرق في الزاوية بين الفيضين فنحصل علي عزم مؤثر علي القرص يؤدي إلي الحركة (شكل رقم ٣–٤) وهو الطراز المستخدم في عدادات الطاقة الكهربية ولذلك يأخذ نفس الاسم في الكثير من الحالات .



الشكل رقم ٣-٤ : جهاز قياس الطاقة

٣- البناء الطبقي التأثيري induction cup structure

متبر هذا النوع من النوع المتزن حيث يظهر فيه أربعة أقطاب حول اسطوانة متحركة ولذلك يسمى أيضا اسم البناء الاسطواني cylinder structure ويأخذ الملفات حول الأقطاب الداخلية كما في الشكل رقم ٣-٥ بينما تعتمد نظرية دخول النوع المتجهي من المتممات لتتصل علي التوالي مع المتمم بالهدف الأصلي ولا قفل الدائرة إلا إذا عملت الشريحتان الاسطوانيتين كما نراها بالشكل رقم ٣-٦ وهو من النوعيات المنتشرة واسعة التطبيقات والتي تتواجد في كافة المجالات لما تتمتع به من صفات تميز عالية الدقة ويمكن أيضا التدخل ي ضبط قيمة التشغيل له ويكون في هذه الحالة معامل الضبط مساويا للنسبة بين التيارين طبقا للمعادلة.



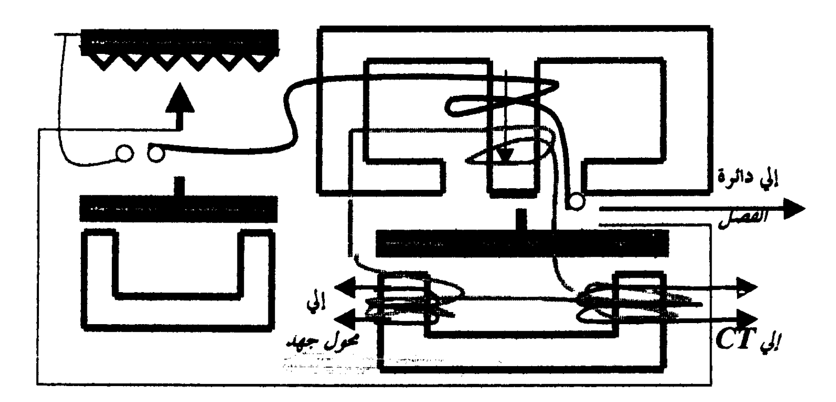
الشكل رقم ٣-٥ : منظر عام للمتمم الاسطواني

تعتمد عملية تحديد تشغيل متمم الاتجاه علي نقطتين هما : الزاوية بين كلا من التيار والجهد وهي التي تعبر عن معامل القدرة وكذلك زاوية قياسية مرجعية reference لتحديد الاتجاه المعاكس سواء للتيار أو القدرة أو غيرهما من القيمة تحت القياس كمرجع لها ويظهر ذلك من خلال المعادلة

العزم = ثابت التناسب x الجهد x التيار x جتا الزاوية (زاوية الفرق بين الجهد والتيار - الزاوية الداخلية للمتمم) (٣-١٠)

والزاوية الداخلية هي المقابلة لأقصى عزم علي قرص الحركة داخل المتمم .

ومن هنا نجد أن ملفي الحث والموصلين علي محولي الجهد والتيار معبرين عن الناحية المرجعية للاتجاه وتدخل في الدائرة الكهربية تأثيرا علي التوالي ومن ثم لابد من تواجد شرط الاتجاه مع القيمة المنوطة بالفصل .



الشكل رقم ٣-٦ : متمم زيادة التيار مع الاتجاه

ويستخدم متمم الاتجاه مع كلا من الزيادة في التيار أو القدرة أو مع تيار التسرب إلي الأرض earth leakage كما يتم الاعتماد علي محولات تيار بطرق مختلفة التوصيل سواء كان عن طريق وجه واحد single phase أو أثنين بينما محولات التيار عادة تكون بمصهر علي كلا من ملفيه الابتدائي والثانوي وجدير بالتنويه عن إمكانية

استخدامه مع المتممات الاستاتيكية static والرقمية digital ويدخل أيضا في دوائر الوقاية بأجهزة الحاسب الآلي computerized schemes .

ويبين الشكل رقم ٣-٧ التصرف الزمني للمتمم ime performance هذا مع أوضاع الضبط المختلفة والتي تتبع وضع التوصيل علي المتدرج plunger والموضح في الشكل رقم ٣-٦ وهو ما يعطي الفرصة لظهور معامل الضبط (الوضع والمعروف باسم Plug Setting Multiplier والذي يختصر إلي (PSM) ويأخذ الشكل الرياضي :

$$PSM = \text{primary current} / \text{primary current setting}$$
$$= \text{primary current} / (\text{Relay current setting} \cdot \text{CT Ratio}) \qquad (3\text{-}11)$$

Operating Time (s)

1

0.8

0.6

operating current

الشكل رقم ٣- ٧ :
خواص التشغيل الزمني لضبط المتمم

بالرغم من أن هذه المتممات قد أدت الواجب طوال الفترات الماضية إلا أنه بظهور المتممات الاستاتيكية الحديثة فقد بات الاعتماد علي تلك الديناميكية عقيما ويبين الجدول رقم ٣-١ المزايا التي تفوق لها المتممات الحديثة علي تلك الديناميكية والتي تعطي الأمل في مزيد من التطور في هذا الميدان مع المستقبل القريب من جهة استحداث الأفضل والأكثر دقة في الأداء . ومن الضروري التنويه إلي أن المتممات الاستاتيكية منها طرازين هما ذلك الذي يعتمد في تكوينه وتشغيله علي خواص الثيريستور أو بدونه وهو ما يعني الاعتماد علي الترانزيستور ولذلك قد فصل الجدول هاذين الطرازين كل علي حدة عند المقارنة وهو ما يؤكد علي تقليل قيمة الاستهلاك عند استخدام المتممات الاستاتيكية .

الجدول رقم ٣-١ : بيان مقارنة بين المتممات الديناميكية والاستاتيكية سواء التي تعتمد علي االثيريتور أو لا

الحالة	متممات ديناميكية	متممات لا تعتمد علي الثيرنتور	متممات تعتمد علي الثيرنتور
استهلاك الفصل (وات)	٣٠	١٠	١٠٠
قدرة مكتسبة (وات)	٣٠	١٠٠٠	٥٠٠
زمن فصل(ميكرو ثانية)	١٠٠٠٠	٢٠	٥٠
قدرة التشغيل	كبيرة	غير محددة	غير محددة
درجة الحرارة المناسبة (مئوية)	- ٥ حتى ٧٠	- ٢٠ حتى ١٠٠	-٢٠ حتى ١٠٠
التيار المقنن (أ)	٥	١	١
قدرة الدخل (ميلي وات)	١٠٠٠ - ٣٠٠٠	١٠	٢٠
الاختبار	بسيط	صعب	صعب
تأثير التلوث	يتأثر	لا يتأثر	لا يتأثر
تأثير الاهتزازات	تتأثر محاور الحركة	لا تأثير	لا تأثير

ثانيا : نوعية الحركة Attraction Type

يأخذ الجزء المتحرك من المتمم أشكالا مختلفة بناء علي بعض الأسس الأولية كما هو مبين في الشكل رقم ٣- ٨ وهي مثل تلك التالية إلي جانب البعض الآخر والمستتنج منهم :

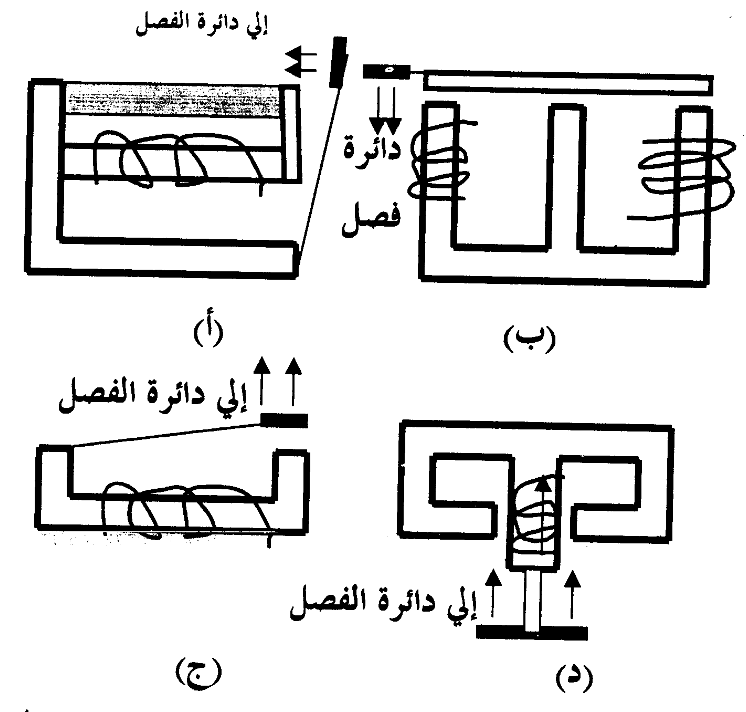
١- الحديد المتحرك بالقطبية polarized moving iron حيث يتحرك الذراع الحديدي نتيجة تولد المغناطيسية في القطب الحديدي أمامه من مرور التيار في الملف الكهربي وتكون شدة العزم هي القوة المؤثرة والمحددة لمشوار الحركة كما ظهرت من المعادلات السابقة بالنسبة للقرص الدوار كما نراه في الشكل (أ) .

٢- الذراع المتزن balanced beam وهو الذراع الأعلى والذي يرتكز علي المنتصف ويتأثر بكل التيارين في الملفين علي جانبي المغناطيس الكهربي أسفله ويجب أن يكون متزنا في الأوضاع السليمة وينجذب إلي الناحية ذات التيار الأكبر في حالة عدم الاتزان كما هو مبين في الشكل (ب) .

٣- الحديد المتحرك حول محور hinged moving iron وفيه ينجذب الذراع المتحرك طرفيا نحو الطرف الآخر من المغناطيس الكهربي نتيجة مرور التيار في الملف عليه وهو إما أن يأتي من محول تيار أو جهد حسب الأحوال كما موضح في الشكل (ج) .

٤- الجزء المغنط plunger type ويختلف هذا النوع عن السابقين في كون الجزء المتحرك يكون بداخل المغناطيس الكهربي ذاته ويعتمد علي قوة اللقط من المجال الناتج عن مرور التيار في الملف عليه (الشكل (د))

٥- القرص المتحرك في حركة دائرية rotating disc وهو أكثرهم انتشارا وهو نفس النوع الذي سبق في السطور السابقة الحديث عنها وقد ظهرت في كل الأشكال حيث تتأثر بالعزم علي محور الحركة وبالتالي تعطي الفرصة لإيجاد مستويات ضبط للقيم المختلفة من العزم (الشكل ٣-٢) وقد تم الشرح لهذا النوع مع بعضا من التطبيقات الفعلية في البند السابق .



الشكل رقم ٣-٨ : بعض الأشكال لحركة نقاط التوصيل المستخدمة مع المتممات

ثالثا : الصيانة والاختبار Maintenance & Testing

تعتبر أعمال الصيانة من أسس العمل الهندسي في جميع التخصصات وهي ما تمثل الكفاءة الإنتاجية سواء من جهة الإنتاج أو من جهة العاملين علي العمل ولذلك تهتم الدوائر الميدانية في الأعمال الهندسية علي مبدأ الصيانة وما يتلازم معه من أعمال اختبارات خصوصا في دوائر الوقاية بالشبكات الكهربية الموحدة حيث تحتاج هذه النظم إلي الدقة والتدقيق عند الاستخدام أو الاستعانة بها في دوائر الوقاية لحماية الشبكات الكهربية توضع الاختبارات في تقسيم مباشر من منطلق الأداء الهندسي وهي

١- اختبارات المصنع factory tests وتشمل الاختبارات التي تتم في المصنع علي المعدة أثناء وبعد مراحل التصنيع

٢- اختبارات الاستلام commercial tests وهي الاختبارات التي تتم عند تسليم المتممات ودوائر الوقاية علي وجه العموم

٣- اختبارات الصيانة repair tests وتمثل الاختبارات اللازمة للتأكد من سلامة تشغيل المتمم ودائرته بعد إجراء الصيانة وبصفة دورية أو استثنائية

وبالتالي يلزم الالتزام بالصيانة المحددة وإجراء الاختبارات المقررة وفي المواعيد الزمنية تبعا للجداول التخطيطية لهذا العمل خصوصا وأنه من النتائج الإحصائية نجد النسب المتفاوتة في حدوث الأعطال علي أجزاء الشبكة الكهربية كما جدولت في الجدول رقم ٣-٢ .

الجدول رقم ٣-٢ : نسبة الأعطال في شبكة كهربية لمدة عام واحد

الجزء	أسباب العطل	نسبة الأعطال	النسبة المئوية
المحطات	عوامل ميكانيكية وانهيار العزل وأعمال الصيانة	١٠ – ١٢	١٢,٦٦-١١,٧٦
المولدات	تشغيل خطأ وحالات غير عادية وعيوب في دوائر الوقاية	٦ – ٨	٧,٨-٧,٦
المحولات	انهيار العزل وعيوب في مغير الجهد ودوائر الوقاية والتحميل الزائد	١٠ – ١٢	١١,٧٦-١٢,٦٦
الخطوط الهوائية	صواعق وجهود داخلية وعوامل طبيعية مثل العواصف والطيور والحيوانات	٣٠ – ٤٠	٣٨-٣٩,٢
كابلات أرضية	قطع أثناء العمل وانهيار العزل والوصلات	٨ – ١٠	١٠,١٣-٩,٨
محولات القياس	انهيار العزل والتوصيل الخطأ وزيادة الجهد	١٥ – ٢٠	١٩-١٩,٦

تعطي الصيانة الفرصة الآمنة لتشغيل منظومة الوقاية ككل وبالمراجعة المستمرة نتأكد من سلامة كل متمم ومكوناته وبالتالي بمحتويات كل دائرة وقاية وأخيرا بالتبعية نضمن أداء صحيح لكل منظومة الوقاية علي الشبكة الكهربية وهذا كله يتحقق من خلال أعمال الصيانة بنوعيها الدوري والجسيم ، أما الاختبارات فهي الحارس العلمي والفني علي سلامة المعدة خصوصا بعد إجراء الصيانة عليها وهي تحتاج إلي بعض الأجهزة الأساسية علي الأقل حتى تمكن من إجراء الاختبارات اللازمة ويوضح الجدول رقم ٣-٣ بيانا بأهم الأجهزة اللازمة للصيانة .

الجدول رقم ٣-٣ : بيان بالأجهزة الأساسية اللازمة لأعمال الاختبارات علي المتممات ودوائر الوقاية

مسلسل	بيان الجهاز	العدد المطلوب
١	جهاز بث التيار (primary current injection) وحيد الوجه ٢٢٠ فولت بتيارات خروج متعددة (١٥ أ – ٢٢٠ ف) / (من صفر حتى ٤ ف لتيارات ٥٠٠ و ١٩٠٠٠ و ٢٠٠٠) أو (٥٠ أ – ١٠ ف)	١
٢	محول ذاتي متغير الجهد حتى ١٢٠ ف – ٥ أ و ١٨ أ	٤
٣	جهاز بث التيار (secondary current injection) وحيد الوجه ٢٢٠ف بتيارات خروج متعددة (١٥ أ – ٢٢٠ ف) / (من صفر حتى ٤ ف لتيارات ٢٥أ – ٢٠ ف و ١٢,٥ أ – ٤٠ ف و١,٥ أ – ١٥٠ ف) أو (٥٠ أ– ١٠ ف)	١
٤	مجموعة أجهزة قياس فولت متر وأمبير متر مختلفة القياس	١
٥	محولات تيار مساعدة مختلفة المقننات من ١ لغاية ١٢٠ أ	١
٦	مقاومات غير حثية ١١٠ ف	٨
٧	مبين اتجاه تيارات النظم الكهربية phase sequence indicator	١
٨	مغير الزاوية –٣ طور – ٥٠٠ وات	١
٩	جهاز قياس الزاوية ١٠ أ – ١١٥/٥٥/١٥ ف	١
١٠	مزمن timer من صفر إلي ١٠ ثانية	١

حيث يظهر من الجدول أنه لا بد وأن يتواجد منبع تيار كي يتم بثه في الدائرة سواء الدائرة الابتدائية أو تلك الثانوية للتأكد من التشغيل السليم للمتمم عند نفس الظروف إذا ما حدث خطأ ويتم ذلك في معمل موقعي

وبصفة دورية للتأكد بالنظام من سلامة المنظومة ككل حفاظا علي الأجهزة والمعدات العاملة بالشبكة وعلي العاملين والمتعاملين معها .

رابعا : أسئلة

3-1 Expiain in details the fundamental items of discrimination for the protective circuits in a power system

3-2 Write about the time discrimination concept for a network

3-3 Explain the meaning of dead zone in protection circuits with drawings

3-4 Find the difference between a good discriminative protective scheme and the bad one

3-5 Indicate the human protection in power networks

3-6 Characterize the safety rules for operation in stations

3-7 Discuss the principle of eathing the neutral point in power systems

3-8 Write about the Peterson coil solid earthing .comment on both cases.

3-9 With drawings explain the following items :
electromechanical relays - static relays - basic rules of relays - protective gear - over current concept - earth fault - symmetrical faults in power systems - unsymmetrical faults in a system

3-10 Find the relation between the circuit breaking capacity and the faulty conditions

(a) How the earthing point affect the rupture capacity of a C B .

(b) Write a report about one only of the following items : The history of protection group - The history of Electricity group

3-11 Find the danger for earthing in the distribution system

3-12 Define : the dead zone in power networks - the time grading protection - the bonding resistance - the directional type of protection

3-13 Discuss the types of electrodynamic relays .

3-14 Compare between the electrodynamic and static relays.

3-15 Report about the maintenance of relays .

المتممات الساكنة Static Relays

ظهرت في النصف الثاني من القرن الماضي هذه النوعية من المتممات نتيجة للتقدم التكنولوجي في تصنيع الدوائر الإلكترونية وأجزائها وبعد ذلك انتشرت علي نطاق واسع في كافة المجالات وقد لحق بعملية وقاية الشبكات الكهربائية أو معداتها أو الأجهزة الكهربائية عموما العديد من التطور وهو ما سوف نتطرق إلي المبادئ الأساسية التي تحكم عمل هذه الدوائر والتي تداخلت في بداية الأمر لتعمل جنبا إلي جنب مع المتممات الديناميكية بل وأصبحت بديلا رائعا لها عند اللزوم ولهذا وقع عبء التطوير والإحلال عليها وأصبحت من النوعيات الجوهرية في أداء دوائر الوقاية أو نظمها علي وجه الإطلاق .

٤-١ : الخصائص الفنية Technical Specifications

تتمتع هذه النوعية من المتممات relays بما تعكسه من تصرفات علي بقية الأجزاء elements في الدوائر الكهربائية circuits بالعديد من الصفات الجوهرية basic characteristics والهامة ونضعها في نقاط محددة وموجزة علي النحو التالي :

أولا : مميزات المتممات الإستاتيكية Advantages

من أهم الصفات المميزة لهذه النوعية من المتممات ما نحدده فيما يلي :

١- السرعة الفائقة في الأداء high speed حيث يصبح الثابت الزمني time constant للدائرة الكهربائية هو الأساس بدلا من الثابت الزمني للحركة الميكانيكية والذي عادة ما يكون كبيرا جدا بالنسبة لمثيله في الدوائر الكهربية .

٢- الحساسية الشديدة high sensitivity للقيمة المنوط بها تحديدا في أعمال الوقاية بل وتكبير قيمتها إلي الحدود التي نستطيع معها العمل بيسر وسهولة

٣- لا تحتاج إلي أي من أعمال الصيانة no maintenance

٤- لا تتأثر بالاهتزازات أو الصدمات shocks and vibrations

٥- الحجم الصغير size reduction

٦- مستوي وخواص أداء عالي المستوى high performance

٧- تحسين معدل الأداء improving عن مثيله من المتممات الديناميكية

٨- سهولة الاستبدال أو الإحلال replacement لتلك الديناميكية في النوع دون أدنى تقصير في العمل

ثانيا : عيوب المتممات الإستاتيكية Disadvantages

تنحصر العيوب في هذا النوع من المتممات في نقطتين أساسيتين هما :

١- لا تعمل بأطراف توصيل متعددة multi terminals connector بل تحتاج للطراز الديناميكي في ذلك

٢- التداخل interference في بعض الأحيان مع خواص أداء المتممات الديناميكية

ثالثا : متطلبات المتممات الإستاتيكية Requirements

تتطلب هذه المتممات بعض من الدقة أكثر عن تلك الديناميكية وهي تقع في :

١- ضرورة إجراء تجارب test علي جودة المنتج quality control بشكل جوهري

٢- التأكد المستمر check بعد كل خطوة تصنيع طوال مشوار التصنيع

٣- مطلوب الحساسية للدوائر عالية السرعةhigh speed circuits بالقيم الفائقة أثناء حدوث الخطأ مثل الحالات الانتقالية transients

٤- يلزم تجهيز منبع قدرة تيار مستمر D C supply باعتمادية مرتفعة reliability

رابعا : محاور تصميم المتممات الإستاتيكية Design

تضيق مجالات المتممات الساكنة في محورين هما :

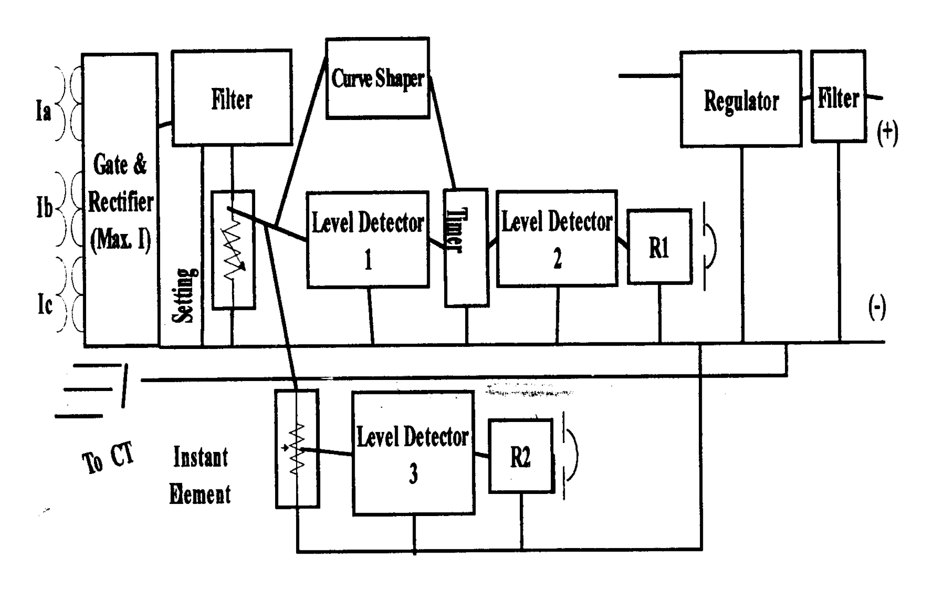
١- متممات منفصلة separately وحيدة الغرض single purpose وهي ما تحل مكان تلك الديناميكية أو التي تدخل بجوارها ليعملا سويا في وقاية معدة ما أو لاستكمال دوائر الوقاية لتصبح متكاملة الأداء مثل متممات التسرب الأرضي earth leakage أو زيادة التيار over current وغيرهما .

٢- متممات متعددة الأداء multifunction وتدخل في دوائر متعددة الغرض أيضا وعادة ما تكون العمليات هذه متصلة الرباط related functions معا من خلال الدوائر الكهربية المتكاملة كما يدخل معها الدوائر المنطقية logic circuits والتي تعمل مع الحاسب الآلي microcomputer أو بدونه وتعطي مخرج وحيد common output لكل الحالات ويشمل كلا من الإشارة signal سواء للتوضيح والبيان indication أو من أجل الإنذار alarm والأمر بالفصل كما يسمح هذا التصميم بنطاق واسع من التعامل والتوصيل لأغراض مختلفة إلا أنه معقد complex في التصنيع أكثر من النوعية السابقة .

كما يتفرع هذا النوع من المتممات في فرعين أساسيين نضعهما في البندين التاليين من هذا الفصل .

٤-٢ : أسلوب التشبيه Analogue Technique

تعمل الدوائر الإلكترونية electronic circuits بنظام استقبال receiving كمية كهربية ما وتعرف باسم القيمة الداخلة input وتشكلها بعد المعالجة الإلكترونية treatment إلي قيمة جديدة وتصبح هي الخارج منها وتعرف باسم القيمة الخارجة output (الشكل رقم ٤-١) وتتمثل الكميات الداخلة في التيار أو الجهد أو الزاوية phase angle بين الجهد والتيار أو بين أي من المتجهات الثنائية أو القدرة أيضا أما الكميات الخارجة فتوضع عند المعالجة مع مبدأ المقارنة comparison base بمرجع أساسي reference بدلا من قاعدة الضبط السابقة setting في المتممات الديناميكية وهي في المعالجة تدخل في دائرة البحث والكشف detection عن كميات محددة definite وتعتمد هذه الأعمال الكهربية علي نظام البساطة في بعض الأحيان وعلي النظام المركب combined system في أحيان أخري ولمزيد من الإيضاح نضعه في ثلاث محاور هي :



الشكل رقم ٤-١ : دائرة وقاية لزيادة تيار مع الفصل المتأخر أو الفوري

أولا : المحور الزمني Time

في هذا المحور نتعرض إلي ثلاث نقاط مبدئية نحتاج إليها في نطاق التعامل الزمني بهذا الأسلوب وكلها متتالية الضرورة وهي :

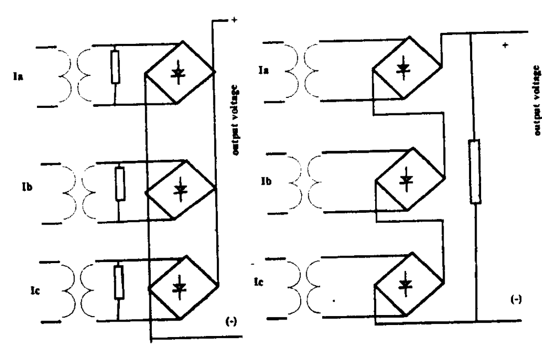
١- مغير نوعية التيار Converter

هو ذلك الذي يعرف بتحويل التيار المتردد إلي الثابت AC/DC converter أو العكس وهو ما يجب أن نبدأ به من القياس بغرض الوقاية حيث نحصل علي القيمة المترددة من الشبكة سواء كان تيارا أو جهدا من خلال محولات القياس وذلك باستخدام قناطر التوحيد rectifier bridges فتتحول إلي كميات علي النوعية الثابتة DC غير المترددة ثم يتم مقارنتها مع مستوي محدد مسبق القيمة predefined level وهو ما يعرف بالضبط setting ثم ندخل علي التوقيت الزمني اللازم في ذلك ولذلك نحتاج إلي هذا المغير لنوعية التيار في بداية كل دائرة كهربية at input تعمل من أجل الوقاية وهو ما نراه في بداية الدائرة الواردة في الشكل رقم ٤-١ كذلك يمكن الاعتماد علي تحويل الكمية علي كل طور لتتجمع سويا مزيدا القيمة عند المقارنة باستخدام نظام البوابة الكهربية gate (الشكل رقم ٤-٢) وفي البوابة الكهربية نحصل علي القيمة الخارجة output ثلاث أمثال تلك الحقيقية تقريبا مما يتيح لنا وضعها ككمية داخلة للدائرة الإلكترونية المخصصة لعمل الوقاية الكهربية وتصبح هي الكمية الداخلة input ، كما نري من الشكل رقم ٤-٢ أن هذه البوابة توضع بنوعين حيث تكون إما لأكبر قيمة تيار highest current كما في الشكل رقم ٤-٢ (أ) أو لأكبر قيمة جهد highest voltage كما في الشكل رقم ٤-١ (ب) ويظهر الفارق أنه في حالة التيار يقاس الجهد الخارج علي أطراف المقاومة output resistance بينما توضع هذه المقاومة علي دخول كل قنطرة لكل طور ونحصل في الخروج علي الجهد بين طرفي توصيل القناطر الثلاث output terminals .

٢- التوقيت الزمني Timers

هنا نعرف نوعين هما إما محدد الزمن definite أو متغير الزمن varied time of tripping وهذا المتغير له نوعان وقد سبق الإشارة إلي ذلك ونضيف هنا الزمن الفوري instantaneous وهو المتاح نتيجة الثابت الزمني الصغير في الدوائر الإلكترونية حيث لا يضاف أي زمن للعمل مع الدائرة ، وهو ما نستطيع التعرف عليه من الدائرة السابقة في الشكل رقم ٤-١ حيث يقوم الكاشف رقم ٣ detector 3 بهذا العمل الفوري بينما يقع عبء التوقيت الزمني علي الكاشف رقم ٢ حيث يتم شحن مكثف capacitor

ليصل إلي التوقيت اللازم عند الشحن الكامل فيتم التفريغ **discharge** وهكذا تصل الإشارة إلي المخرج لتعطي الأمر بالفصل التلقائي .



(أ) دائرة تعتمد أكبر تيار لحظي (ب) دائرة تعتمد أعلي جهد لحظي

الشكل رقم ٤-٢ : دائرة الباب الكهربي Gates

ثانيا : محور الكشف والبحث Detection

يعتمد الكشف عن القيمة ووقت حدوث الخطأ **fault** أو العيب في الشبكة الكهربية في هذا النظام علي كاشف أو باحث **detector** والذي يمثل الدقة في تحديد الضبط **setting** وهذه الصفة الأساسية للتعامل مع الدوائر الإلكترونية من أجل تقليل معامل الخطورة الإحصائي **statistic risk factor** ويقلل من الفصل الخاطئ **false operation** وهو ما يقع في ثلاث طرق مهمة هي :

١- كاشف المستوى level detector

يعتمد هذا الكاشف علي المكبرات المنطقية **amplifiers** والتي نراها في الشكل رقم ٤-٣ حيث يعمل بنظام التحويل بين الكميات الداخلة والخارجة من خلال العلاقة **input output characteristic** فيعطي القيمة للجهد الخارج مباشرة فقط إذا وصلت إلي القيمة المرجعية والمحددة علي الشكل عندما تخرج القيمة التي تدخل عن حدود العلاقة التحويلية وتدخل منطقة التشبع **saturation** . كما تتميز المكبرات المثالية **ideal amplifiers** من هذه النوعية بثلاث صفات جيدة هي:

(أ) الخروج الجيد لانهائيا **infinite voltage gain**

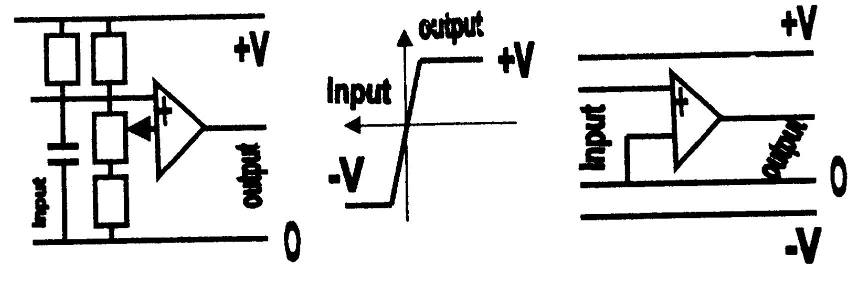
(ب) المعوقة الداخلية للدخول اللانهائية **infinite input impedance**

(ج) المعوقة الصفرية عند الخروج **zero output impedance**

(د) يمكن استخدام هذه الدائرة بدون بردن حملي

(هـ) نستطيع إدخالها في عدد من دوائر الوقاية الرئيسية.

وكلها صفات تتمتع بها الدوائر المنطقية مما يزيد من كفاءة أدائها لهذا العمل .

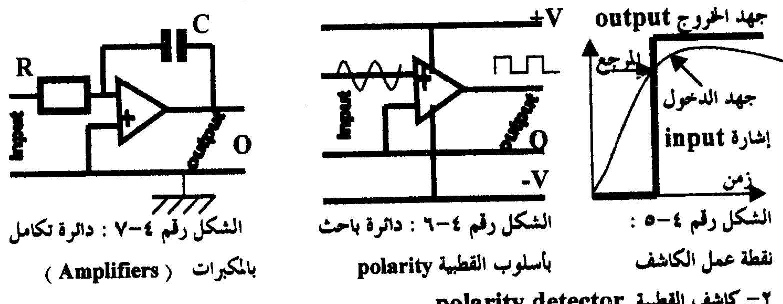


(أ) الدائرة الكهربائية — (ب) إشارة الدخول والخروج

الشكل رقم ٤-٣ : دائرة المكبر للإشارات الشغالة

الشكل رقم ٤-٤ : دائرة كاشف علي أساس المستوى

إضافة إلي ذلك يقوم الكاشف بالمقارنة **comparison** مع قيمة محددة مسبقا (الشكل رقم ٤-٤)قد تم الضبط عليها فلا يعطي قيمة خروج إلا إذا وصلت القيمة الداخلة إلي تلك المقننة كمرجع في الدائرة الكهربية لهذا الكاشف حيث تعمل القيمة المرجعية **reference** مثل المفتاح الكهربي **switch** فيفصل الدائرة وتصبح بلا خروج أو يغلقها وتخرج الموجة مباشرة إذا وصلت إلي هذا الحد ويبين هذه العلاقة البيانية الشكل الوارد رقم ٤-٥ حيث تظهر النقطة المرجعية عند تقاطع القيمة الداخلة للمكبر مع القيمة المرجعية المحددة .



الشكل رقم ٤-٥ : نقطة عمل الكاشف

الشكل رقم ٤-٦ : دائرة باحث بأسلوب القطبية polarity

الشكل رقم ٤-٧ : دائرة تكامل بالمكبرات (Amplifiers)

٢- كاشف القطبية **polarity detector**

يعتد هذا النوع علي الشكل الموجي الخارج من المكبر كما يقدمه الشكل رقم ٤-٦ واضح بالموجات .
من الشكل ٤-٦ نجد الموجة المترددة sinusoidal wave الداخلة تتحول إلي موجة مربعة square عند الخروج أو مستطيلة أحيانا وتختفي في هذه الحالة عمليات التشوه distortion ومخاطرها علي الدقة وذلك نتيجة الخروج الذي يعتمد علي إما الحالة فتظهر القيمة أو لا توجد فيكون الناتج صفرا وهنا يكون المرور الصفري معروفا بدقة تامة ولا يتأثر بنوعية أو شكل موجة الدخول .

٣- الكاشف التكاملي integrator

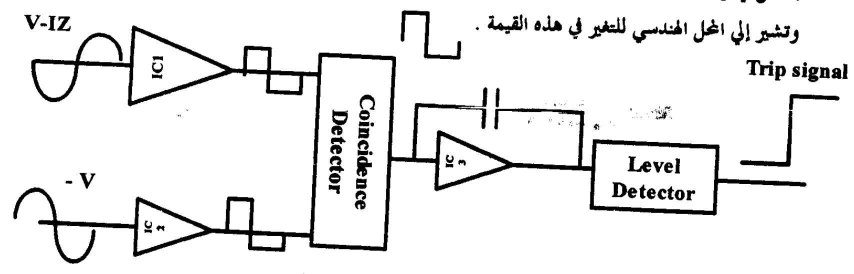
يظهر هذا الطراز من الدوائر المنطقية وهو واسع الانتشار ويعتمد علي التغذية الخلفية في دائرة المكثف والذي يتأثر بقيمة المعوقة الداخلية والتي تساوي النسبة بين الجهد الداخل والمقاومة الداخلة أيضا والتي يمر بها تيار الدخول وتعطي جهدا علي المكثف بقيمة :

$$V_c = 1/C \int I\,dt \;=\; (1/RC) \int E_{in}\,dt \;=\; -V_{out} \qquad (4\text{-}1)$$

تشير هذه المعادلة إلي أن جهد الخروج يتناسب مع تكامل integral جهد الدخول ولهذا تصلح الدائرة للاستخدام الزمني timer service كما وجدناها في الشكل رقم ٤-١ من قبل والممثلة بمشكل المنحني الزمني curve shaper .

ثالثا : محور نوعية التطبيقات Applications

يدخل التطبيق الفعلي للدوائر المنطقية في دوائر الوقاية عموما بشكل مكثف حتى وصل إلي الشيوع وكثرة إحلاله محل القديم أو المتهالك من القديم وتعطي الدائرة في الشكل رقم ٤-٨ شكلا من هذه التطبيقات حيث تتم المقارنة بين الموجتين الداخلتين (كقيمتين) ويكون الناتج للمقارنة هو الخروج منها وهو ما نراه مطبقا بالفعل في وقاية المسافة للخطوط الكهربية عند العمل علي مبدأ قياس مقلوب المقاومة Mho resistance وتشير إلي المحل الهندسي للتغير في هذه القيمة .



الشكل رقم ٤-٨ : دائرة مقلوب المقاومة بأسلوب المقارنة

ويعمل في الدائرة كلا من الكاشفين IC1 & IC2 بأقصى قيمة كسب عند الخروج وبدون التغذية الخلفية No Feed Back بينما يتبع الكاشف الأخير detector أسلوب المستوي level كما تحدد عليه بالرسم، ويظهر أيضا دائرة التكامل الكهربية integrator قبل المرور علي الكاشف الأخير للتعامل مع ا لإشارات المربعة وتحويلها إلي إشارات فاعلة خارجة بعد المرور علي كاشف المستوي .

٤-٣ : الأسلوب الرقمي Digital Technique

تتطور النظم الرقمية digital systems وتشغيلها بسرعة فائقة high processing في العقود الأخيرة وذلك نتيجة التكنولوجيات المبتكرة والمتقدمة في مجال الدوائر الإلكترونية ومكوناتها مثل البوابات المنطقية logic gates والمشغلات الدقيقة microprocessor والحاسب الإلكتروني computers ودوائر الوقاية ذاتها relaying circuits ، ولكنه من حيث المبدأ تقوم الدوائر الرقمية علي أساس تحويل القيمة الداخلة analogue value تحت غرض الوقاية ضد خطأ ما إلي إشارة رقمية digital signal ويتم تشغيل تلك الأخيرة علي أحد المحورين :

الأول : محور المقاطع المنطقية discrete logic

وهذه النوعية تتميز بالقدرة علي التعامل مع عدد من الإجراءات غير المركبة والمتداخلة التي تتم في وقت واحد علي التوازي parallel

الثاني : المشغلات الدقيقة microprocessor

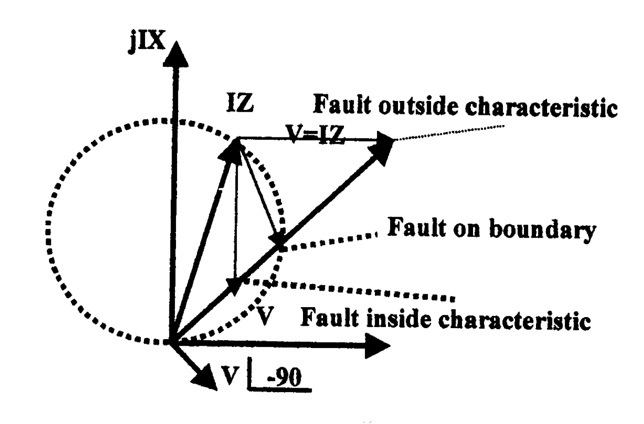
وهي التي تستطيع التعامل مع الموضوعات المعقدة complex والمتداخلة function interference وبشكل أفضل من غيرها علي وجه الإطلاق ولكنها في الحقيقة قد تعجز عن العمل علي التوازي في بعض الأحيان مما يعطي الفرصة للعمل علي المحور السابق في تلك الحالات ، وكم سيكون من الأفضل بكثير عندما يؤخذ بالمحورين في آن واحد خصوصا مع الدوائر والعمليات المتداخلة تماما بحيث يعتمد التعامل مع الكميات المتوازية داخل نطاق كل مرحلة علي محور المقاطع المنطقية بينما تؤخذ النتائج جميعا للتحليل وإعطاء الوضع النهائي بمحور المشغلات الدقيقة .

ولهذا السبب نجد الإستراتيجية الهندسية للأسلوب الرقمي والذي يعطي التكامل والإمكانية للحصول علي نتائج دقيقة والخالي من عيوب العمل الزائف حيث يتشكل من مجموعة متتالية من العمليات المنطقية التي تتأكد معا وتعطي القرار النهائي الصحيح .

أولا : مبدأ المقارنة Comparison

من المعروف أنه عادة لا يجمع كلا من السرعة quickness والأمان security في شيء واحد ونفس الوقت ونحن هنا بصدد تحقيق الميزتان معا حيث لحصل علي أسلوب مقارنة Comparison سريع ودقته عالية بعد التأكد من ذلك حيث يعمل الخروج output signal بناءا علي مبدأ التأكد verification من كل أمر صادر إليه حتى يتحقق صحته من مكان آخر فإذا كانت الإشارة الثانية مؤكدة للسابقة فتعطي أمرا بالفصل التلقائي أما إذا كان التأكد سلبيا نتيجة لتواجد موجات توافقية harmonic waves أو تشويه وتوهين distortion مع الموجات المسافرة traveling waves عبر مكونات الدائرة وما ينتج عنها من شوشرة noise فيتوقف أمر الفصل ولهذا يكون الأمان متوفرا بجانب السرعة وهي من أهم العوامل التي يتميز بها هذا النوع من الدوائر في التطبيقات مع هذا المجال .

في هذا الصدد يستخدم أسلوب مقارنة الزاوية phase angle comparison بين المتجهات بناءا علي نظام ترتيب الأطوار phase sequence concept بمساعدة الدوائر المتكاملة bipolar IC ، فمثلا يجب الاستعانة بمرشح مرور منخفض من الدرجة الثانية second order low pass filter للتخلص من الموجات المسافرة بذبذبة قطع cut off قد تصل إلي ٥٠٠ ذبذبة / ثانية .



الشكل رقم ٤-٩ : متجهات المقارنة لقياس mho characteristic .

تكون الكميات الداخلة هي الكميتين الأولي A والثانية B كما في الشكل رقم ٤-٩ ويتبعان الصيغة الرياضية:

$$A = V - IZ \tag{4-2}$$

$$B = V \angle -90^{\circ} \tag{4-3}$$

وبذلك تقع حدود التشغيل في المنطقة

$$90^{\circ} > Arg(B/A) > 0 \tag{4-4}$$

وهو ما سوف نقوم بالشرح عليه في النقاط التالية .

١ - الكمية الخارجة output signal

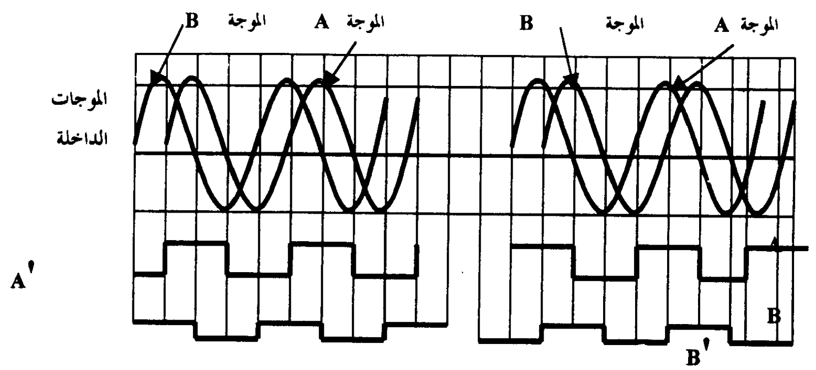
للمقارنة بالنسبة للزاوية angle بين متجهين نأخذ المتجه A ومعه المتجه B لنقارن بين تغير الزاوية بينهما وحالة الوضع والترتيب المنطقي logic sequence للحالة المعتادة normal والأخرى المخالفة لها ، ففي حالة فرق الزاوية ٩٠ فنعطي الموجة الأولي الرمز A بينما الثانية تأخذ الرمز B كما موضح في الشكل ونري الموجة المترددة وما يقابلها أيضا من موجات مربعة والترتيب المنطقي للموجات في الحالة في (أ) ، وهي الحالة التي تعبر عن التشغيل الصحيح والوضع السليم للزاوية بين الكميتين A و B ، هو :

$$A.B \quad A'.B \quad A'.B' \quad A.B' \quad A.B \tag{4-5}$$

أما في الحالة (ب) ، وهي الحالة التي تمثل اختلافا في الزاوية للكميتين عن لتشغيل الصحيح مما يعني أن الزاوية بين الكميتين A و B قد أصبحت في الاتجاه الخطأ ، فنجدها

$$A.B \quad A.B' \quad A'.B' \quad A'.B \quad A.B \tag{4-6}$$

حيث في (أ) نجد أن الموجة الأولي تسبق الثانية بينما ينعكس الوضع في الحالة الثانية وبناء علي ذلك نجد في الحالة الأولي عندما تتغير A ينعكس القطبية لها عن الموجة المتأخرة بينما مع تغير B تحتفظ بالقطبية مثل A عند تقدم B تنعكس الأوضاع السابقة .



(أ) حالة التشغيل العادي restrain condition (ب) حالة الفصل operation condition

الشكل رقم ٤-١٠ : ترتيب المتغيرات المنطقية بالنسبة للحاسب الآلي

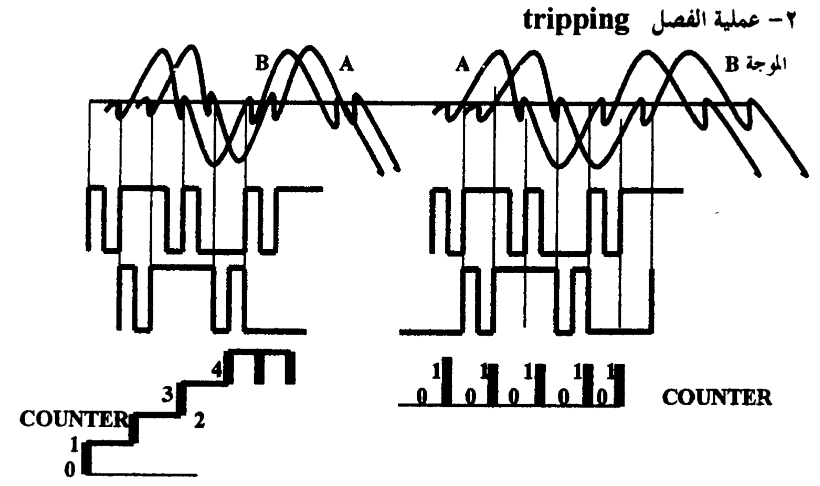
ويقدم الشكل رقم ٤-١٠ تفسيرا واضحا لهذه الشروط المنطقية **logic conditions** والتي تحدد مدى الدقة في الحصول علي الكمية الخارجة **output** لاتخاذ القرار الصحيح بالفصل **trip** حيث يقوم المقارن **comparator** بفحص هذه الإشارات الداخلة عند كل تغير قطبي **polarity** ، أي تغير عند المرور الصفري **zero crossing** ، ليتحقق من أيهما تغير حقيقي أو زائف **false** ولكي يتأكد من الترتيب عما إذا كان يمثل حلة تشغيل معتادة **restraining** أم أنها حالة تستدعي الفصل .

من المهم الإشارة إلي أن تغير حالة الإشارة لا يعتمد علي فقط علي القطبية (المرور الصفري) فيتحدد لها وضع الفصل بل أنه قد يأتي هذا التغير من تواجد أي من الموجات التوافقية **harmonics** أو الشوشرة **noise** أو تلك الإشارات المزيفة **spurious** والتي قد تحدث مضافة علي الإشارة الأصلية **fundamental** من الشبكة الكهربية ولهذا فالعمل الآمن يتحدد له نطاق **criterion** كي يتم الفصل من خلال استقبال عددا من المتغيرات المتتالية والتي يجب أن تشير كلها إلي الاحتياج للفصل **trip** ويقوم المقارن بتحديد عدد هذه المتغيرات وكل تغير فيها يضاف إلي أن يصل إلي الحد الأدنى لتشغيل الفصل (٤ تغيرات يمثلون تغير الموجة خلال دورة كاملة (**complete cycle**) بينما في حالة وضع الزوايا الصحيح يقوم كل تغير بالطرح من العدد ليصل إلي الصفر في نهاية الحدود (الدورة الكاملة) .

تزداد عملية الفصل الصحيحة أهمية إذا ما كانت الشوشرة أو الإشارات الخاطئة والمزيفة أو حتى تلك التي قد تأتي بأكثر من عبور خلال الصفر مما تساعد علي تغير حالة الترتيب المنطقي للموجات وتظهر ترتيبا منطقيا في حالة خاطئة ، ففي الشكل رقم ٤-١١ نري مثل هذه الحالات التي يضاف فيها عدادا **counter** (للتغلب

علي الفصل المزيف) ليقوم بالتغيير كل زوجين من التغير مرة واحدة فنبتعد عن الأخطاء ،وهكذا نبتعد عن خطأ في حساب حالات التغير نتيجة الشوشرة من خلال العداد .

٢- عملية الفصل **tripping**



(أ) حالة التشغيل العادي **restrain condition** (ب) حالة الفصل **operation condition**

الشكل رقم ٤-١١ : تأثير التداخل علي المقارن المنطقي

لا يتوقف الأمر عند هذا الحد بل نحتاج إلي المزيد من الدقة لتحديد حالة الخطأ بالضبط حيث تظهر بعض الحالات الحرجة عندما تقترب الإشارات الداخلة من حدود التشغيل لأجهزة الوقاية **thresholding** أو عندما تحتوي الإشارة أو كليهما علي الشوشرة بقيمة كبيرة فتزيد معها مرات العبور الصفري في زوايا بعيدة عن الصفر الحقيقي ، ولذلك نحتاج إلي سلسلة من العمليات المتتالية للتغلب علي كل احتمال للتشغيل الخاطئ نتيجة الشوشرة ونضع هذه الخطوات وهي :

١- يجب بعد العد الأول أن يستمر زمن عمل العداد لمدة ٦ ميلي ثانية علي الأقل من أجل الإحساس بتغير القطبية الفعلي **actual polarity** قبل إعطاء الأمر بالفصل

٢- عندما يقوم العداد بالعد الثاني مع عدم تغير الحالة في الحالة العادية **down count** تكون إشارة الخروج من المقارن **comparator** متوافقة مع الشرط الكافي **condition** لضمان العمل الصحيح بحيث تعطي في

النهاية حدودا لأمر الفصل limit criterion for tripping باستمرار الزمن من جديد مع كل عد جديد تبعا للتداخل مع الإشارات الداخلة input signals وعلى ألا يكون به شوشرة noise .

٣- لا يستطيع العداد العد تبعا لتغير الحالة في ترتيب الفصل an up count وذلك حتى يمر زمن ٤ ميلي ثانية علي الأقل من آخر عد last up count ، وعند كل مرة يعمل فيها العداد تقل المدة المطلوبة عن السابقة والمسجلة زمنيا مع ضرورة إنهاء المدة التي بدأت في الحسبان من قبل ، وهذا يقلل من الخطأ الذي قد ينشأ مع تواجد الموجات عالية التردد HF ويمنع المتمم داخل مجال التأثير من حالة over reach نتيجة تواجد التغير الأسي من الموجات الداخلة (الشكل رقم ٤-١٢) . وفي هذه الحالة نتعامل مع الحالة المنطقية التالية :

A.B A'.B A'.B' A.B' A.B A.B' A'.B' A.B' A.B A'.B' A.B' A.B (4-7)

وهذه شروط منطقية تعطي العد التالي للعداد بين قيمتين أعلي UP (U) وأسفل DOWN (D) فيما يلي :

D D D D U U D D D D D (4-8)

جدير بأن نشير إلي أن الحالة U U لا تعطي أمر الفصل الحقيقي لأن المسافة الزمنية السابقة أقل من ٤ ميلي ثانية ، وهو ما يؤكد القدرة علي التغلب علي كل التأثيرات الناتجة عن الحالات الانتقالية transients .

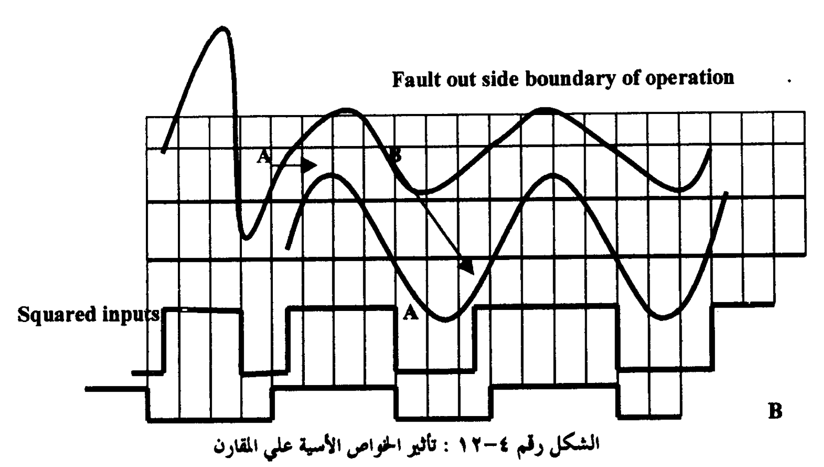
٤- يلزم عمل كبح (فرملة) blocking input إذا كان العداد قد رصد عددا أقل من أربعة مرات (حد التغيير) ويستخدم ذلك بنجاح بالغ إذا كان هناك اختلاف بين المعلومات التي رصدت من المصادر المختلفة ، فمثلا من جهاز الاتجاه directional element وكذلك من تواجد القيم اللحظية الفجائية الناتجة خصوصا عن دخول محولات الجهد السعوية في الدوائر الكهربية ، وهو ما يعني القضاء علي تأثير الشوشرة noise.

٥- إذا خرج المقارن بإشارة للفصل tripping output لا يجوز عودته إلي الوضع الأصلي reset إلا إذا كان العداد صفرا تأكيدا علي عدم الفصل الخطأ .

٦- يجب أن يكون أقل زمن تشغيل هو ٦ ميلي ثانية وبتواجد متمم تكاملي integral tripping relay مناسب للفصل حتى نحصل علي أقل زمن عمل operating time خصوصا بالنسبة لوقاية المسافة distance protection علي الخطوط الهوائية والكابلات الأرضية حيث يزداد الزمن إلي ٧ ميلي ثانية بالنسبة لأقل زمن عمل minimum operating time

كانت تستخدم في الإشارة signaling or flagging المرئية vision والسمعية sound متممات ديناميكية mechanical device لتوصيل أطراف لها بأطراف فصل ويعتمد ذلك علي أذرع مغناطيسية attracted armature عند التعامل مع متممات ساكنة static ولكن الثيريستور thyristor لا يعمل مع النوع الميكانيكي للإشارة .كما يعطي أسلوب الإضاءة المشعة light emitting diodes وسيلة مباشرة في هذه الحالة خصوصا

وأنها قليلة الجهد ولها إعتمادية عالية وذات عمر طويل ، ويمكن إضافة المنافع النابعة عن استخدام الذاكرة والتي قد تغذي متممات صوتية Reed Relay (سرينة) حيث تكون الذاكرة من النوع non - volatile حيث يستمر العمل وعليها الجهد بعد فقدان مصدر الطاقة D C Supply.



الشكل رقم ٤-١٢ : تأثير الخواص الأسية علي المقارن

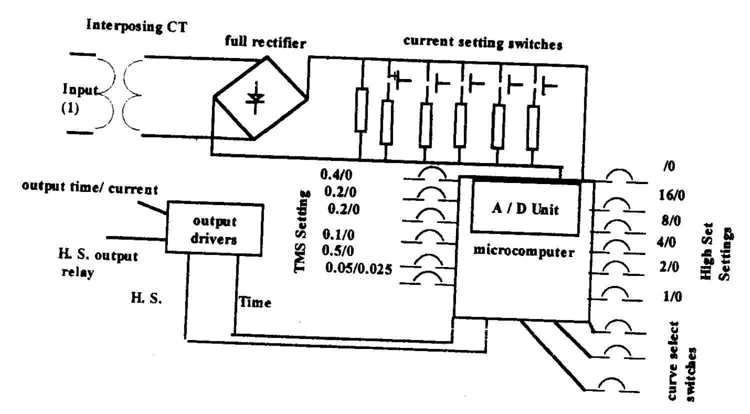
كما يمكن الاعتماد علي أجهزة التخزين charge storage device أو الحاسبات المخصصة للوقاية ذات نوعية القراءة فقط electrically erasable / programmable read only memory وتعرف اختصارا بالرمز EEPROM حيث تتمتع هذه النظم بالعديد من المزايا بالرغم من تكلفتها المرتفعة.تصلح الحاسبات للتعامل مع دوائر الوقاية بدقة عالية لما تتميز به من صفات مثل النظم الخبيرة سريعة الأداء عالية الكفاءة وهي تصلح لتحل محل الوصلات السلكية المنطقية أيضا hard wired contact logic وتظهر أهمية ذلك مع زيادة عدد المتغيرات المنطقية logic variables كما هو الحال مع متممات الوقاية للمسافة distance relay علي الخطوط والكابلات الكهربية ، ويمكن عمل أشكال نمطية للذاكرة المستخدمة وأجزاء الحاسب مثل وحدة التشغيل المركزية CPU وتخصيص دوائر كهربية hardware خصيصا لعمل الوقاية .

في هذه الحالة نحتاج إلي تصميم خاص بالدوائر العاملة في الوقاية وإعطاء الفرصة لإضافة أو تعديل أي من البيانات للضبط أو التعديل أو التغيير من خلال وحدات الدوائر المطبوعة printed circuits المستقلة ويجب الاعتماد علي نظام الكروت الكهربية المطبوعة IC chips والسماح بالقراءة فقط EPROM منعا

للخطأ عند التعامل مع هذا المجال والذي لا يجوز فيه السماح ولو بقدر ضئيل من الخطأ فيه .وتتاح بذلك الفرصة لاستخدام عدة أشكال (دزائر) بمفاتيح خارجية للضبط thumb wheel switches تسهيلا علي الأداء وبذلك تسهل المتابعة للبرامج ويمكن الاعتماد علي المشغلات الدقيقة في إعطاء التحذيرات أو البيانات المرئية أو السمعية في وقت واحد إذا ما ظهر عيبا في أي من هذه الكروت المطبوعة .

ويمكن مع الحاسب بدلا من تشغيل A/D converters مع الحاسب كي لا يحدث تأخير في سرعة الأداء مع المتممات عالية السرعة بحيث تسهل عملية التغلب علي ذلك باستخدام الدوائر المخصصة لهذا الغرض لتحل محل هذه المغيرات وهذا الطابع يناسب بقدر كبير متممات الوقاية ضد زيادة التيار over current relay متأخرة الفصل زمنيا أو بالفصل الفوري كما نراه في الدائرة بالشكل رقم ٤-١٣ حيث تم استخدام الحاسب مستقبلا للإشارة من محولات التيار مع ظهور مقاومات الضبط للتيار حيث تتاح فرصة لتحويل الإشارة الخارجة من الحاسب إلي عداد رقمي أو المخارج الاختيارية التي بينت علي الرسم .

ويمكن أيضا التعامل مع التوقيت من خلال التفريغ الكهربي في المكثفات وتحديد الزمن بالضبط واللازم



الشكل رقم ٤-١٣ : دائرة مبسطة للحاسب الآلي كمتمم زيادة تيار

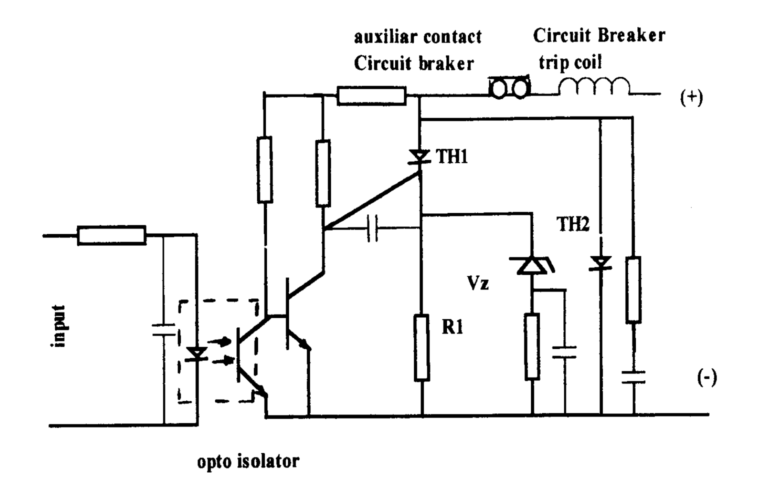
ومن ثم التحكم فيه كما يستخدم نفس النظام مع دوائر التحكم الآلي في الكثير من التطبيقات الكهربية .ونري في الشكل رقم ٤-١٣ دائرة للوقاية ضد زيادة التيار ومعه مجموعة كبيرة من الضبط سواء كان للزمن أو لقيمة التيار مع إمكانية التغير الزمني تبعا لتواجد أسلوب اختيار المنحني المطلوب إتباعه عند الفصل .

ففي هذه الدائرة نجد الضبط للتيارات والذي يتم من خلال توصيل المقاومات عند الدخول إلي الحاسب الآلي وقبل ذلك يتواجد الموحد الكامل للموجة من خلال الكباري الموحدة للتيار والتي تركب علي ملفات الجهة الثانوية لمحولات التيار وهذه المقاومات المحددة للتيار تتوالى في القيم مثل (0.2/0.1 or 0.2 / 0 or 0.4 / 0 ...) بينما قيم الضبط الأخرى قد جاءت علي الشكل ذاته .

ثانيا : مبدأ الدقة Accuracy

ليس من الواجب توصيل الدوائر الإلكترونية electronic circuits مباشرة مع أطراف الدوائر الكهربية لما لها من تأثير عند هذه الأطراف terminals وما يتبع الحالات الفجائية من أشكال موجية وتأثيراتها المختلفة ، كما يمكن استخدام الأجهزة الضوئية optical devices للحصول علي الإشارات المطلوبة input signals من هذه الدوائر الكهربية وإدخالها إلي الدوائر المنطقية منخفضة المستوي low level logic inputs وذلك يكون مناسبا في حالة العمل مع المتممات ذات الذراع المنجذب attracted armature أو من النوع السريني REED RELAY لأنها تصبح بطيئة الحركة slowبالنسبة لبدء initiation حركة المفاتيح الكهربية السريعة high speed circuit breakers وكذلك للامسات connectors المتمم السريني خصوصا مع القدرات الصغيرة ، إلا أنه مع القدرات الكبيرة يظهر كلا من المتمم السريني الجاف عالي القدرة high power dry type أو الرطب الزئبقي mercury wetted قادران علي تحمل القدرة العالية والتي تصل إلي ٣ ك. و. في ١٠٠٠٠ عملية تشغيل وفي هذه النوعيات يلزم اتخاذ إجراءات الحماية لها ضد الصدمات الميكانيكية mechanical shocks .

علي الجانب الآخر تنجح الدوائر التي تعمل بالثيرستور thyristor في التغلب علي هذا التداخل interference بين الدوائر المنطقية والشبكات الكهربية حيث أنها تستطيع عزل isolate الدوائر الخارجية تماما (الشكل رقم ٤-١٤) ، فنري الإشارة الغامزة trigger signal تدخل من خلال الجهاز العازل الضوئي إلي الثيرثتور رقم ١ إذا كان ملف الفصل tripping coil للمفتاح الكهربي CB له ثابت زمني time constant أكبر من ٣٠ ميلي ثانية والثيرثتور رقم ٢ لن يغمز الدائرة إلا إذا كان التيار أكبر من القيمة المقننة الأدنى لإشعاله minimum firing current ، أما الباقي فيتم تبعا لإشارة البوابة gate من الثيرثتور رقم ١ وجهد الزينر Zener Voltage والمقاومة R1 بحيث يصبح الجهد عليها أكبر من جهد الزينر المحدد من قبل والأعلى من مستوى جهد تشغيل الثيرثتور رقم ٢ . ويجب هنا إضافة الحماية اللازمة للأوضاع الفجائية الناتجة كوسيلة أمن security حتى يتحمل الجهاز الاختبارات سواء للتداخل أو النبضية impulse أو حتى نوع burst .



الشكل رقم ٤-١٤ : دائرة فصل تلقائي للوقاية باستخدام الثيريستور

أما بالنسبة للأسس الجوهرية للتعامل مع النوعية الرقمية للوقاية في الشبكات الكهربية فهي :

١- صغر الحجم

٢- إمكانية تطويرها بسهولة

٣- الاعتماد علي توصيل الأطراف داخليا وبأقصر المسافات لتقليل الوصلات الخارجية من جهة ومنع التداخل بين الإشارات من الناحية الأخرى مما يؤدي بتقليل معامل الخطورة الصاعقية **surge risk factor** ويزيد من تأمين **security** الدوائر في أداء عملها

٤- تحديد طرق وسائل وكذلك مخارج **terminals** محددة لأطراف الدوائر من أجل الصيانة والاختبار وقياس كفاءة الجودة **quality**

٥- تحديد أطراف كل وحدة صغيرة لتكون مستقلة حتى يتمكن المختصون في المصانع من التعامل معها وإجراء أي أعمال تطوير معها ويمكن الاعتماد علي أسلوب الأسلاك الخلفية **back plane wiring** في ذلك .

٦- إظهار أطراف الاتصال مع محولات التيار أو الجهد ليسهل أعمال التبديل والصيانة

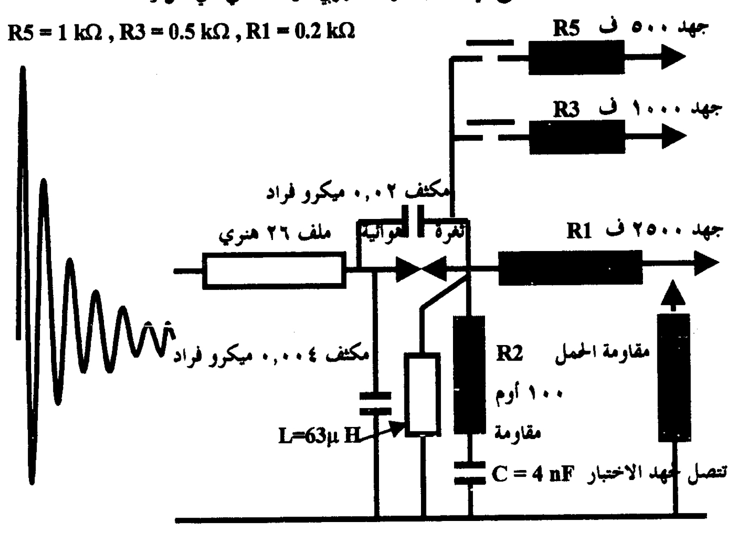
٧- عمل فرملة blocking عند رفع هذه الوحدات من الخدمة بشرط ألا يتم الفصل إلا بعد توصيل الكباري bridges والتي تتواجد مع الوحدة خصيصا لهذا الغرض علي الأطراف المحددة

٨- إتاحة الفرصة لاستخدام نظم الكروت المطبوعة printed cards لأعمال الصيانة

٩- إنتاج وحدات صغيرة مستقلة مما يعطي المرونة في التعامل معها سواء في المصانع المختلفة أو عند إضافة وحدات أو تعديل أية دوائر أو عند إعادة الضبط setting .

ثالثا : أسس الدوائر النهائية Circuits

نظرا لاحتواء الدوائر الإلكترونية علي أشباه الموصلات semiconductors فإنها تتعرض لظهور الموجات غير الأصلية والتي تنتمي لمجموعة الموجات التوافقية أو التي تعرف بأنها شوشرة noise في الدوائر الكهربية والكميات المتعاملة معها ولهذا تنشأ فيها نوعين من الأعطال وهي إما العيوب التي تتمثل في النكبات catastrophic وهو ما يحتاج إلي اختبار العزل الكهربي أو تلك التي تأتي مثل رداءة الأداء



(أ) الدائرة الكهربية لمولد ذبذبات عالية (ب) موجة اختبار نمطية

الشكل رقم ٤-١٥ : دائرة التجارب للذبذبة العالية لثلاث جهود ١ ميجا هيرتز

maloperation وهو ما يحتاج إلي اختبار التردد العالي HF disturbance test (الشكل رقم ٤-١٥)
حيث تستخدم موجة نمطية بذبذبة ١ ميجا هيرتز ومعدل التكرار ٤٠٠ مرة / ثانية ولها معدل إخماد قدره من ٣ حتى ٦ دورة ، ولذلك نحتاج إلي أسلوب واضح لإجراء التجارب التي تحمي هذه الدوائر من تلك العيوب أو علي الأقل تزيد من طول عمر تشغيلها وتخفض معامل احتمال الانهيارات أثناء التشغيل .

جدير بأن تتحدد قيم المقاومات التي تتلاءم مع كل جهد اختبار مع التأكيد علي أن الغلاف الذي يخص المتمم أو الجهاز المختبر لا بد وأن يكون متصلا بالأرض كجهد صفري .

حيث أن التطور الحادث علي هذه الجبهة بدءا من المكبرات الخطية linear operational amplifiers ثم البوابات الرقمية digital gates ثم إلي الدوائر المنطقية logic circuits وأخيرا الدوائر المتكاملة متعددة الأغراض multi purpose integrated circuits أو تطوراتها مثل الدوائر الكبيرة large scale digital IC أو بعد ذلك الذاكرة memories ثم انتهاء مع المشغلات الدقيقة microprocessors فكان من الضروري التأكيد علي جودة أي منها بل وجميعها أيضا فتكون هناك أهمية للمتابعة لتقليل معامل الانهيارات failure factor الإحصائية لتشغيل هذه الدوائر وتلافي أسباب ظهورها .

ولهذا نهدف في الدوائر الإلكترونية إلي هدفين هما : أولا وهو رفع كفاءة الأداء high performance والثاني قلة التكلفة economic production مع الاحتفاظ بالجودة علي أعلي المستويات ، كما يمكن الاعتماد علي بعضا من المحاور الهامة وصولا إلي الهدف السابق نتناولها في السطور التالية .ويعتمد علي أسلوب البرامج المتكاملة software للتشغيل علي الحاسب الآلي للحصول علي نتائج الجودة المطلوبة جزئيا وكليا في آن واحد توفيرا للجهد والوقت والتكلفة أيضا . فنأخذ هذا التأكيد علي الجودة في جزأين هما :

الجزء الأول : المكونات components

ويعتمد الاختبار هنا علي نوعين هما :

١- الاختبار الديناميكي dynamic test ويتم عند درجة حرارة ٧٠ درجة م

٢- الاختبار الإستاتيكي static test ويتم عند الدرجتين إما ٨٥ م/١٦٠ ساعة أو ١٠٠ م/ ٧٢ ساعة

ونحتاج لهذه الاختبارات لأن هذه الدوائر تتأثر بشدة بدرجات الحرارة وتتغير معها نقاط العمل لكل جزء فيها ويكون الاختبار للأجزاء المستقلة هادفا إطالة عمر هذه الوحدة المتكاملة لأن انهيار الجزء يزيد من العبء الكهربي علي بقية الأجزاء مسرعا من تلفها ويمكن برمجة هذه الاختبارات بشكل مباشر مع الحاسبات كي نحصل مباشرة علي نتيجة الاختبار النهائية (رفض / قبول) final result وتتم هذه التأكيدات للجودة علي مراحل ثلاث بجانب اختبار تكميلي أساسي عند الحاجة إليه وهي :

١ – اختبار التشغيل والأداء functional test ويتم بمساعدة المشغلات الدقيقة

٢– اختبار ديناميكي لتحديد burn in عند ٧٠ درجة م لمدة ٤٨ ساعة تشغيل

٣– كل الأجزاء التي تمر بنجاح من الاختبار الحراري يعاد مرورها علي الاختبار السابق الأول

٤– كل الأجزاء التي تقع عليها احتمالات العيوب تمر باختبار آخر مبرمج اعتمادا علي مبدأ drift

الجزء الثاني : الدوائر الشاملة المطبوعة printed circuits

يميز المتممات الساكنة ذلك المدى واسع النطاق للعمل فيها وتطبيقاته من أسلوب التشبيه analogue وحتى الدوائر VLSI والحاسبات الآلية وكل هذا يتعرض لعدد من العيوب النمطية مثل: اللحام solder القنطرة bridge – النقط الجافة dry joint – الاتصالات المفتوحة disconnected circuits وهذا يتطلب التدقيق والاختبار لكل الأجزاء الفعالة active components أو غير الفعالة passive components ولذلك نجد النماذج modules ووصلاتها في حاجة إلي المراجعة قبل وبعد الإنتاج ففي الوصلات ندخل إلي مجال ترتيب الوصلات connections اعتمادا علي أسلوب wire wrapping technique ويمكن البرمجة لأداء الاختبار وتكون مزودة بما يعرف الوصلات الخلفية back plane wiring ويتم الاختبار بالاستعانة بمولد ذبذبة متعدد الأوجه multi phase AC signal generator حيث يغذي جهاز فولت متر رقمي مع عداد زمني وباستخدام الحاسب الآلي والحزم البرمجية software المخصصة لهذا الغرض وهي التي تسهل هذه المهمة كما تعطي الفرصة في ذات الوقت للتعامل مع الأقراص المرنة floppy disk

رابعا : الاختبارات Tests

تتنوع الاختبارات علي وجه العموم خصوصا مع التطور السريع في هذا المجال إلي أربع محاور هي :

المحور الأول : اختبارات الإنتاج production Test — *المحور الثاني: اختبارات التفتيش الهندسي Inspection*

المحور الثالث : اختبارات المصنع Factory Tests — *المحور الرابع : الاختبارات الدورية Routine*

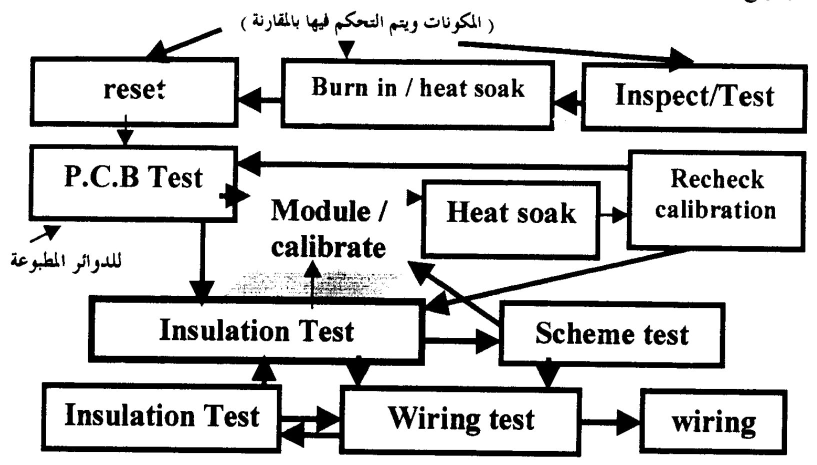
أما عن المحور الأول فيشمل عددا من الأنواع الهامة هي :

النوع الأول : اختبار الإنتاج production test

وهو ما يشمل تلك الاختبارات التي ذكرت من قبل مع الجودة في الإنتاج وتعطي النتائج مطبوعة مباشرة تسهيلا في الأداء وسرعة في الإنتاج وتتم هذه الاختبارات كما يظهر من الشكل رقم ٤–١٦ علي عدة محاور

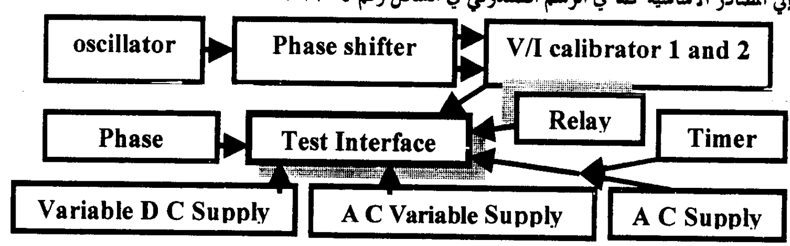
من ذلك الشكل نري أن المكونات عموما تختبر بالتحكم من الحاسب الآلي للمعاملات تحت الاختبار وتعطي النتائج مباشرة وتتم خلالها أيضا مقارنة هذه المكونات بتلك النتائج النمطية والمطابقة للمواصفات . أما للدوائر المطبوعة فنجد أنها تتأثر بأسلوب التشخيص بالحاسب تبعا للحزم البرمجية التي تعتمد علي أسلوب (إيجاب / رفض) ، أما بالنسبة

للنماذج المستخدمة فهي تتبع كل مصنع بصفة مستقلة إلا أنهم جميعا يتحدوا في الاختبارات النمطية وتتبع التشخيص الآلي والمبرمج . وتطور هذه الإمكانيات تبعا لما يحظى به التقدم السريع في هذا القطاع علي المستوي الدولي .



الشكل رقم ٤-١٦ : اختبارات الإنتاج اللازمة للمتممات الساكنة ودوائرها

بالنسبة للعلب **cases** التي تحوي المتممات والدوائر الساكنة هذه وهي أيضا تتعرض للاختبارات والمحددة في الجزء السفلي من الرسم وتشمل التوصيلات واختباراتها وتكون اختبارات دورية ، وفي جميع الأحوال نحتاج إلي المصادر الأساسية كما في الرسم الصندوقي في الشكل رقم ٤-١٧ .



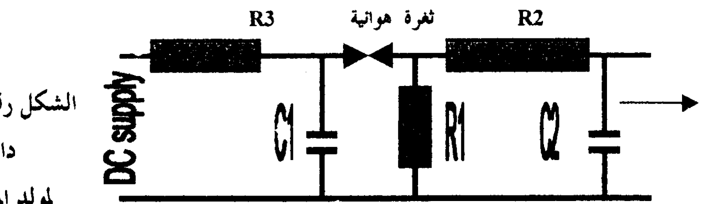
الشكل رقم ٤-١٧ : وحدة الاختبار الأساسية

النوع الثاني : اختبار العزل insulation test

وهو ما يتم لقياس قدرة العزل علي تحمل الجهود العالية التي تتعرض لها هذه الدوائر ولها اختبار نمطي هو :

الاختبار النبضي impulse test وهو مقنن : 2.5 kV , 1.2 / 50 micro seconds

ويتم ذلك هنا علي أساسين ، فالأول يتم باستخدام دوائر كهربية hardware مخصصة لهذا الغرض أما الثاني فيتجه إلي الحزم المبرمجة حتى يعطي المجال الأوسع في التطبيقات وقد يعطي الفرص كي نصل بالجهد إلي ٥ ك. ف . بدلا من ٢,٥ ك. ف ويقدم الشكل رقم ٤-١٨ الدائرة الخاصة بالاختبارات للعزل عند جهدي ٥ أو ١ ك. ف. بشرط أن يتم توصيل جسم المتمم أو الجهاز حسب الأحوال بالأرض .



الشكل رقم ٤-١٨ : دائرة التجارب لمولد الموجة النبضية

نجد أن هذه الدائرة تعطي الفرصة لتوليد الجهدين تبعا لتغير قيمة المكونات فيها كما في الجدول رقم ٤-١ .

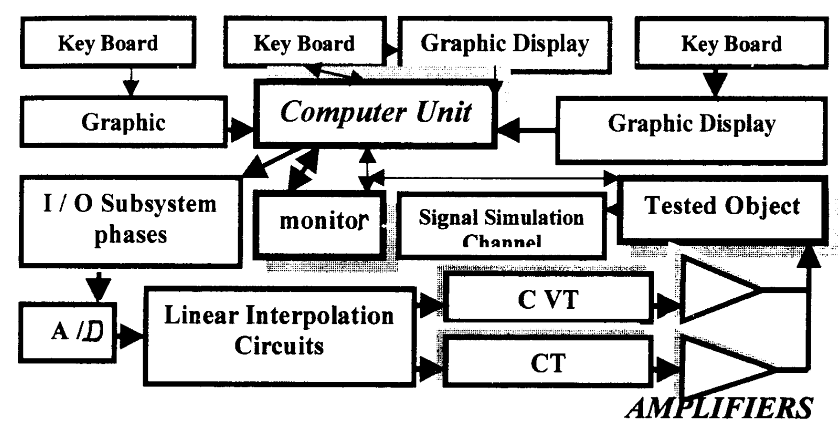
الجدول رقم ٤-١ : قيمة مكونات دائرة الاختبار لجهدي ١ و ٥ ك. ف. النبضي

المكونة	للجهد ١ ك. ف.	للجهد ٥ ك. ف.
R1	١٨٠ أوم	١٨٠٠ أوم
R2	٥٠٠ أوم	٥٠٠ أوم
C1	٠,٦ ميكرو فاراد	٣٥ نانو فراد
C2	٠,٨ نانو فاراد	٠,٨ نانو فراد

النوع الثالث : الاختبار النهائي final test

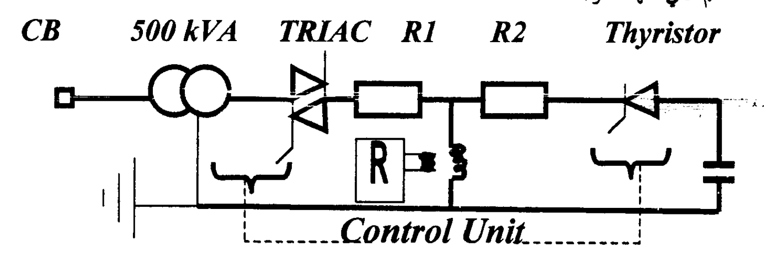
نحتاج هنا لنظم الاختبارات المتكاملة والتي تعطي الفرصة لاختبار الجزء والكل في آن واحد وذلك متاح من خلال أسلوب المحاكاة وهو ما يكون عادة في متناول المتخصصين بصدد الشبكات الكهربية ويقدم الشكل رقم ٤-١٩ الشكل العام للمحاكاة في النظم الكهربية ، ونري من الشكل أن الحاسب الآلي قابل للاتصال بنماذج لنظم كهربية أخري كما هو مبين بالأسهم المشار لها علي حدود الحاسب ونشير إلي أن المحول من القيم الواقعية إلي الرقمية يخصص لكل وجه أو وحدة واحدة ذات القنوات الثلاث لتتحول قيم الجهد عن طريق محول الجهد وهو ما يفضل أن يكون من النوع المكثف تصميما وتتحول التيارات من خلال محول التيار فتمران هذه

النوعيتين علي مكبرات مخصصة لكل منهما وتصل في النهاية إلي الجهاز أو المتمم أو غيره من الأجزاء تحت الاختبار ويمكن متابعة كل النتائج من خلال شاشة العرض الموضحة علي الرسم .



الشكل رقم ٤-١٩ : الشكل الصندوقي لمحاكاة النظم الكهربية

وعادة ما نحتاج إلي الاختبار لحالة ما إذا كانت النسبة بين كلا من الحث والمقاومة كبيرة وتستخدم الدائرة الموضحة في الشكل رقم ٤-٢٠ لهذا الغرض فتظهر فيها أن الدائرة تعتمد علي نظام العمل مع الثيرثتور مع التحكم الآلي معها للموجات .



الشكل رقم ٤-٢٠ : دائرة مبسطة للحصول علي نسبة الحث عالية مقارنة بالمقاومة

ويظهر محول بتوصيل دلتا / ستار مؤرضة ويعطي الجهود تبعا للمقننات القياسية **standard values** وهي ١١ ك. ف. / (٨٨٠ أو ٦٦٠ أو ٤٤٠ فولت) ويتم اختبار المتمم من خلال محول التيار .

٤-٤ : تمارين Problems

1- Compare between electro-dynamic and static relays
2- Indicate the limits of applications for static relays in networks
3- Give a principle circuit for instantaneous tripping .
4- Draw a circuit for over current protection with definite time tripping .
5- Draw a circuit for over current protection with a changeable time tripping
6- Compare between detectors in logic circuits .
7- Explain with drawings the effect of stop in the transfer function for a detector .
8- Indicate the differences between integrators and level detectors .
9- Indicate the basic differences between integrators and polarity detectors .
10- Explain in short items the discrete logic requirements in protective schemes .
11- How to measure the tested value with the high (X/R) in a circuit with drawings ?
12- Determine the operating point effect in static relays .
13- Which is the most positive point for the selection between hardware or software design relative to the protection applications ?
14- Draw relative sequence with digital principle for the output in a protective scheme .
15- Use the logic base to find out the wave output .
16- Explain the process of logic counting with comparison based protected relay .
17- Design a general circuit for under voltage protection with microprocessors .
18- Why did thyristors advance a more accurate concept ? Prove with circuits .
19- Which is the vital test between all ?
20- Deduce the HF circuit for testing the static relays .
21- Why can we use the simulation technique with static relays ?

دائرة الوقاية

PROTECTIVE CIRCUIT

تعنى دائرة الوقاية بتلك الدائرة ذات المهمة المحددة للتخلص من خطأ معين في الدائرة الرئيسية بالشبكة ذات الجهد العالي وهي معرفة فنيا في مجال الوقاية ولذلك سوف نتحدث بإيجاز عن أهم هذه الدوائر كبداية للتعامل مع هذا المجال المتخصص والذي يحتاج إلي المزيد من التركيز والتحليل والدراسة مع كل تشغيل تلقائي بل ومع كل إشارة قد تحدث دون تشغيل أجهزة الوقاية أو أي منها ، كما أن هذا الأسلوب سوف يزيد من الشرح لمفهوم منظومة الوقاية والتي سوف نتعرض لها كموضوع في الفصل القادم .

تمثل دائرة الوقاية النواة الحقيقية في شبكة الوقاية ككل وهي تتنوع وتتباين حسب النوع أو الغرض فمنها دوائر تعمل علي التمييز الزمني ومنها تلك المحددة لمكان الخطأ وكذلك دوائر لتحديد نوع الخطأ وهناك أيضا نوعيات من هذه الدوائر تتعامل مع بعض أ وكل هذه النوعيات من التمييز كأجزاء داخل دائرة الوقاية وهو ما سوف ندخل به من حيث المفهوم من خلال هذا الفصل ، يدرس هذا الفصل النوعيات المختلفة الأساسية في مجال الوقاية عموما ومنها تلك الوقاية ضد زيادة التيار أو زيادة الحمل أو الجهد أو انخفاض الجهد أو الذبذبة أو تغيير اتجاه سريان القدرة أو قيمة المقاومة المعبرة عن المسافة للخطوط أو غير ذلك من الكميات التي تعبر بطريقة غير مباشره عن التشغيل غير العادي للشبكة أو القياسات غير المباشرة والتي تشير إلي وجود خطأ ما في الشبكة الابتدائية من حيث المبدأ وغير ذلك من الموضوعات الهامة والتي قد تستكمل في الفصل التالي له .

٥-١ : حماية التيار Current Protection

المقصود هنا ما ينجم عن خطورة التيار ولذلك تكون الوقاية ضد ارتفاع قيمة التيار عن المقنن المسموح به لأنه ضار بالتوصيلات والوصلات والموصلات كما أنه يقضي علي الملفات وكل ما يتعلق بها ولذلك نأخذ معالجة التيار هنا علي محوري زيادة التيار **over current** (وهو إما تيار قصر طور من الأطوار أو البعض أو كلهم وإما التيار الذي يتصل مع الأرض) وكذلك زيادة الحمل **over load** وهي الزيادة التي يسمح بها التصميم للمعدة لفترة زمنية قصيرة وهكذا نتناول موضوع التيار ككل فيما بعد. وعند التطرق إلي موضوع زيادة التيار والوقاية من خطورته الناجمة عن وجود خطأ وما يتبعها من خطر داهم علي مكونات الشبكة الكهربية وخاصة

تلك التي تحتوي علي ملفات كهربية ولها عزل وعليها ضغط حراري مما يرفع العبء عليها إلي قدرات فوق الطاقة ، يجب أن نتعامل مع ممانعات الحالات الانتقالية (machine transient reactance (Xd' بالنسبة للماكينات وتتمثل في المولدات والمحركات والمحولات وممانعات الجهد الفائق مع البيانات الأساسية التالية

١- الرسم الخطي للشبكة single line diagram محددا عليه نوع ومقنن مكوناته بما فيها محولات القياس (محولات جهد VT أو محولات تيار CT) .

٢- القيمة القصوى والأدنى لتيار القصر short circuit level في كل موقع علي الشبكة وكذلك كل جهاز ودائرة وقاية بكل منهم

٣- منحنيات خواص محولات القياس performance في الدوائر المختلفة للوقاية

٤- قيمة المعوقة impedance في كل الشبكة لجميع المكونات في واحدة من الوحدات التالية (أوم - مئوية - الوحدة p. u.)

٥- تيارات البدء starting currents للمحركات المختلفة بالشبكة وزمنها

٦- منحنيات التغير لمعدل خفض الأحمال incremental loading علي المولدات لكل من المولدات المتواجدة بالشبكة

٧- التيار الأقصى لتحميل أجهزة الوقاية Circuit capacity

٨- القدرة الأقصى لمحطة البطاريات battery rating لشبكة الوقاية التي تقوم علي عملية الوقاية

٩- أقصى قيمة للتيار المعتاد من خلال أجهزة الوقاية

بناءا علي ذلك نجد أنه للحصول علي أقصر وقت تشغيل فصلي tripping للتيار عند أقصى قيمة متوقعة لتيار قصر يجب أولا تحديد قيمة ضبط المتمم relay setting والتأكد عما إذا كان التشغيل سيتم بكفاءة عند أقل قيمة متوقعة لتيار القصر short circuit current كما يلزم رسم منحنيات المتممات وأجهزة الوقاية الأخرى مثل المصهر خصوصا في الدوائر المحورية radial بتوصيل التوالي in series (الشكل رقم ٥-١)، ويكون مناسبا الاستعانة بمقياس للتيار المتوقع عند أقل جهد مرجعي lowest voltage base أو اختيار قيمة مرجعية للقدرة base MVA ومن ثم تيار لكل مستوي جهد علي الشبكة .

جدير بالذكر أن هذه التيارات الزائدة over current عن الحدود المناسبة للتشغيل لها من الأضرار التي تجعلنا نتعامل معها كحالة وبائية abnormal condition في الشبكة ولذلك يتم الاستعانة بكل من:المصهر fuse أو القاطع breaker المزود بملفات لتجاوز الحمل over load أو بملفات فصل بزيادة التيار أو بالاعتماد علي عمل المتممات relay لفصل القواطع الكهربية في الشبكات الكبيرة .

أولا : تيار القصر بين الأطوار Phase Short Circuit Current

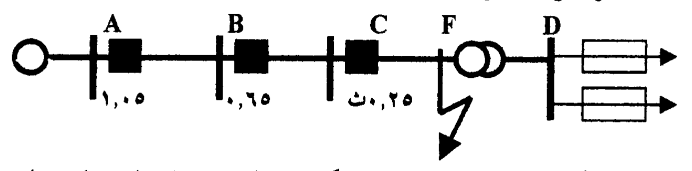
التمييز في قواعد انفصل التلقائي بالشبكة ذات التوصيل المتالي بالنسبة لقيمة التيار كقصر يحتاج إلي عددا من الأنواع التفضيلية وهي (التمييز الزمني Time أو التمييز بقيمة التيار value أو التمييز المختلط Time / value) والنوع الأخير هو الأهم لأنه يشمل الآخرين ومن ثم فإن تنسيق العمل للمتممات العاملة علي وقاية الشبكة تخضع للأسس التالية :

١- استخدام متممات بذات الخواص ومتماثلة similar بقدر الإمكان في النظم المحورية الكهربية radial لأنها الأنسب من ناحية الشرح والإيضاح لمثل هذا الطابع من العمل .

٢- التأكد من ضبط setting قيمة التيار كل متمم بحيث يساوي التيار السابق عنه أو يقل في قيمة الضبط أما من جهة التمييز فنتناوله فيما يلي

١- التمييز الزمني Time Discrimination

حيث يكون من المعتاد في كل شبكات التوزيع محورية الطابع ضبط أدنى قيمة زمنية للفصل عند ٠,٢٥ ث وبالتالي تتراجع القيمة الزمنية لسرعة الفصل بقيمة تقريبية هي ٠,٤ ث كما هو مبين علي الرسم في الشكل رقم ٥-١ فنبدأ حساب ذلك الزمن الأدنى عند أبعد نقطة فصل عن محطة التوليد وتتزايد القيمة الزمنية للفصل تباعا كلما اقتربنا من محطة التوليد عند القضبان A .



الشكل رقم ٥-١ : الرسم الخطي لشبكة محورية التوصيل وعليها التمييز الزمني بالثانية

هذه النوعية من المتممات الزمنية لا بد وأن تكون محددة الزمن definite time relay حيث يبدأ جميع المتممات بالشبكة إذا ما وصلت قيمة التيار إلي قيمة الخطأ المحدد وعليه يتم تشغيل كل متممات الفصل علي طول الشبكة ويتم فصل التيار نتيجة الخطأ ويكون زمن تشغيل كل متمم مختلف عن الثاني كما هو محدد علي الرسم ويعيب هذه النوعية إذا ما حدث هذا القصر بجوار محطة التوليد ومن ثم يفصل المفتاح CB عند المحطة علي زمن هو ذلك المحدد علي الرسم بينما يتم فصل الأجزاء الأخرى بالشبكة عند أزمنة أقل ويمثل بذلك عبء كبير علي المولدات وهو ما يهدد الشبكة ككل ولذلك لا يجوز الاستعانة بهذا النوع من التمييز وحده .

٢- التمييز بقيمة التيار Current Discrimination

علي محور القيمة value فنجد المرجع هنا لزيادة التيار هو التيار بوحدة الأمبير ولهذا نري في الشكل رقم ٥-٢ شبكة محورية وكيفية ضبط قيمة التيار لفصل المفاتيح الكهربية بالشبكة حيث نجد المولد ٢٥٠ م. ف. أ. ، ١١ ك. ف. بينما المحول بقدرة ٤ م. ف. أ. وجهد ١١ / ٣.٣ ك. ف. ومقاومة ٧ % .

نضيف كذلك أنه بناء علي زمن الفصل هذا تظهر ثلاثة حالات من الفصل وهي في حقيقة الأمر عبارة عن نوعيات من الفصل أو خواص لأسلوب الفصل وهي

أ) ***متممات سريعة الفصل*** ***High Speed Tripping*** وهي ما تعرف باسم الفصل الفوري instantaneous ولكنه لا يمكن من الناحية العملية أن يتم الفصل في زمن صفري Zero Time ولذلك فان الزمن اللازم لتشغيل القاطع لأداء الفصل Tripping يكون في حدود ٠.٠٨ ثانية .

ب) ***متممات محددة زمن الفصل*** ***Definite Time Tripping***

في هذا النوع يكون الفصل خاضعا للعلاقة بين التيار I والزمن t بحاصل ضرب بقيمة ثابتة K طبقا للمعادلة :

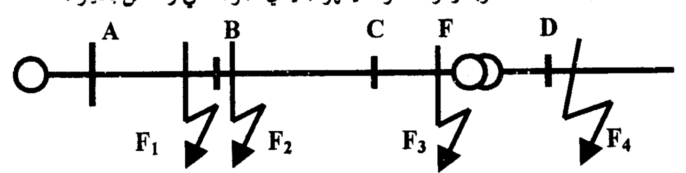
$$I \cdot t = K \qquad (5\text{-}1)$$

ج) ***بزمن فصل تعاكسي مع التيار*** ***Inverse Minimum Time Tripping***

تتغير العلاقة بين التيار والزمن كدالة أسية بالأس n وهي تتغير ما بين ٢ و ٨ لتصبح كما في الصيغة :

$$I^n = K \qquad (5\text{-}2)$$

عندما تأخذ قيمة الأس قيمة صغيرة يكون هو فصل عكسي أما إذا ارتفعت هذه القيمة فيكون شديد التعاكس very inverse أو extremely inverse وهي التي سبق شرحها في الفصول السابقة وهي أيضا سوف تتحدد بذلك تبعا للحالة المطلوبة وهو ما سوف يظهر جليا في الجزء التالي والخاص بالتيار .



الشكل رقم ٥-٢ : الرسم الخطي لشبكة محورية التوصيل وعليها التمييز لقيمة التيار

في هذا الشكل نجد أن التيار المار عند كل نقطة خطأ يختلف عن الآخر وإذا أخذنا الجهد علي الوجه فيكون ٦٣٥٠ ف ومن ثم تكون المقاومة المقابلة للخطأ عند F_1 هو

التيار = ٦٣٥٠ / (مقاومة التوليد + مقاومة الخط) (٥-٣)

حيث مقاومة الخط هي ٠,٢٤ أوم بينما مقاومة التوليد = ١١ ^٢^ / ٢٥٠ = ٠,٤٨٥ أوم وبالتالي يصبح

التيار=٦٣٥٠/(٠,٢٤+٠,٤٨٥)=٦٣٥٠ / ٠,٧٣٥ = ٨٨٠٠ أ (٥-٤)

ولكن المقنن العملي القياسي لا يمكن أن يزيد عن يزيد عن ٦,٨ ك. أ. لأن القيمة الدنيا للقدرة في الشبكة في حالات القصر هي ١٣٠ م. ف. أ. بينما القصوى هي ٢٥٠ ولذلك لا يجوز النزول عن قيمة التيار الأدنى وهو المحدد عالية ويصبح هو القيمة بدلا من ٨.٨ ك. أ. ذلك لأن القاعدة في حساب هذه القيمة يعتمد علي :

١- لا يمكن أن نقارن بين نقطتين متجاورتين للخطأ مثل النقطتين F_1 وكذلك F_2 محورين هما وكذلك لأن الفرق بينهما لا يتعدى ١ % أو أقل .

٢- يقع مقنن الخطأ للمنبع بين ١٣٠ و ٢٥٠ م. ف. أ. وعلي هذا يكون التيار غير صحيح للتمييز بين النقطتين B & C بينما يكون سليم بين النقطتين C & D (الشكل رقم ٥-٢) .

لحساب الضبط اللازم عند حالة F_4 نجد أن

التيار=٦٣٥٠/مجموع مقاومات المولد والخط وخط المحول والمحول (٥-٤)

أما عن المقاومات فمقاومة المولد محددة من قبل ومقاومتي الخطين هما ٠,٢٤ و ٠,٠٤ أما مقاومة المحول فهي:

مقاومة المحول={ (١١ ك. ف.)^٢^ / ٤ م. ف. أ. }٧ % = ٢,١٢ أوم (٥-٥)

وبذلك نحصل علي التيار بقيمته

التيار = ٦٣٥٠ / ٢,٨٨٥ = ٢٢٠٠ أ (٥-٦)

ويجب أن يوضع في الاعتبار قيمة الضبط الأماني اللازم إضافته إلي قيمة التيار المحسوب عند الضبط والذي عادة يفرض في حدود ٢٠ % لتغطية أية أخطاء من تشغيل المتمم وكذلك ١٠ % للتغير الناتج في مقاومات الشبكة ككل ويكون التيار اللازم للضبط هو

تيار الضبط لقيمة الفصل = (١٢٠ + ١١٠) % x التيار المحسوب

$$= ١,٣ \times \text{التيار المحسوب} \qquad (٥-٧)$$

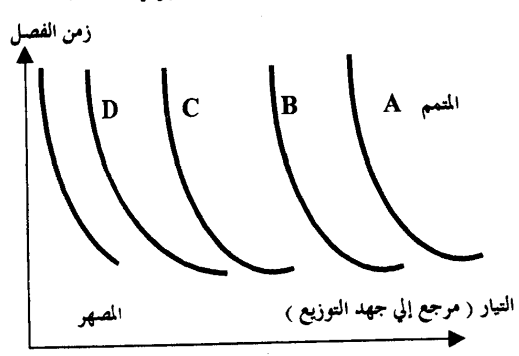
وبالنسبة للنقطة F_3 فنحصل علي التيار في الشكل

التيار = ٦٣٥٠ / (٠,٤٨٥ + ٠,٢٤ + ٠,٠٤) = ٨٣٠٠ أ (٥-٨)

ولكن بتقييم التيار المقنن القياسي للمنبع وهو ١٣٠ م. ف. أ. نجد القيمة قد أصبحت

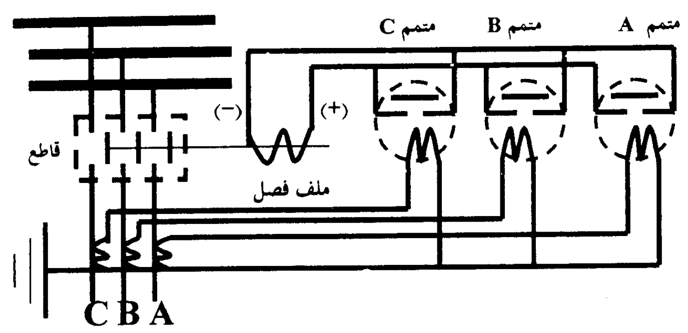
التيار = ٦٣٥٠ / (٠,٩٣ + ٠,٢٤ + ٠,٠٤) = ٥٢٥٠ أ (٥-٩)

مما سبق نجد أنه من الأساس لا بد وأن نتعامل مع التمييز المشترك بين كلا من الزمن والتيار لتحقيق الفصل المناسب وهو ما سبق بيانه من حالات تغير زمني مع مراعاة أن يكون التشغيل لكل متمم أن يتم قبل الآخر كما هو مبين في الشكل رقم ٥-٣ فنجد أن المتمم للشبكة في الشكل رقم ٥-١ يعتمد علي العمل بطريقة الفصل العكسي مع قيمة التيار كما أن الزمن دائما سابقا بالنسبة للمصهر في نهاية الشبكة .



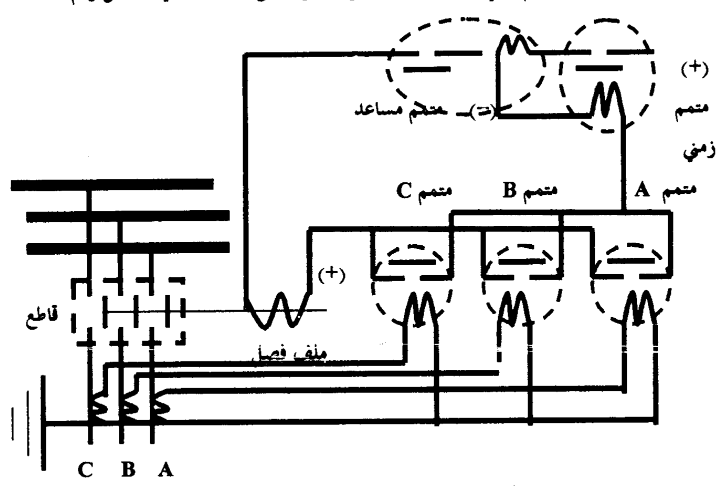
الشكل رقم ٥-٣ : خصائص الفصل في شبكة محورية

وهكذا نتعامل مع متمم زيادة التيار علي محاور متعددة حيث يعطي الشكل رقم ٥-٤ الرسم الثلاثي لمتمم زيادة التيار علي الثلاث أوجه مبينا كيفية الأداء بكل منهم حيث يتم حساب كل تيار في كل وجه ثم يعطي الأمر للوجه الذي قد يكون عليه القصر أي زيادة تيار ويتم الفصل بزمن عمل المتمم فقط وإما أن يكون فوريا أو محددا زمن الفصل أو محددا لقيمة التيار وهنا أيضا من السهل معرفة أي الأوجه به خطأ .



الشكل رقم ٥-٤ : الرسم الثلاثي لتوصيل متممات زيادة التيار

نري كيفية التحكم في الفصل الزمني من خلال إضافة متمم زمني في الدائرة هذه علي التوالي كما في الشكل رقم ٥-٥ ومنها نجد إضافة لمتمم زمني **timer** له الخواص المطلوبة مثل تلك المبينة في الشكل رقم ٥ -٣ ،



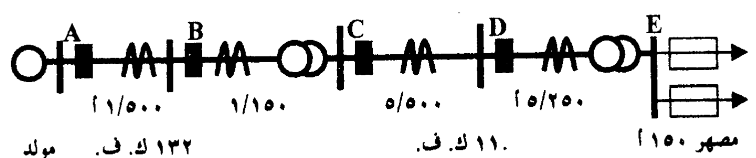
الشكل رقم ٥-٥ : الرسم الثلاثي للفصل الزمني

أو غيرها من الصفات الأخرى المتاحة ، ويكون العمل هنا أن يأخذ أحد أطراف ملف المتمم الزمني الجهد علي التوازي مثل المؤجب أو السالب وفي الرسم تحدد الموجب بينما الطرف الثاني يعتمد علي التيار المار في المتمم

السابق ، وهو أي من متمم زيادة التيار وعلي أي من الاوجه ، وإذا ما وصل التيار إلي القيمة المحددة للعمل يقفل ملمسه فيصل الجهد علي طرفي متمم الزمن كي يعطى الأمر إلي متمم مساعد **auxiliary relay** والذي يظهر عليه الجهد بالمثل كما حدث مع المتمم المساعد أي ملمس المتمم المساعد يكمل وجود الجهد علي هذا الملف الجديد فيغلق ملمسه وهو المتصل بملف الفصل **tripping coil** علي التوالي فيصل الجهد علي طرفي ملف الفصل الخاص بالقاطع الرئيسي بالدائرة الابتدائية .

ولمزيد من الشرح نأخذ تأثير محولات التيار علي شبكة محورية أيضا كما جاءت في الشكل رقم ٥-٦ وعليها محولات التيار وكل البيانات الخاصة بالرسم جاءت ملخصة في الجدول رقم ٥-١ .

مصهر ٢٠٠ أ ، ٣.٣ ك.ف



الشكل رقم ٥-٦ : الرسم الخطي لشبكة محورية لتوزيع الأحمال

الجدول رقم ٥-١ : بيانات الشبكة المحورية

الجزء	المقننات	القيمة للمرجع ١٠ م. ف. أ.	(%)
المولد.	١٣٢ ك. ف ، ٣٥٠٠ م. ف. أ.	(١٠ x ١٠٠) / ٣٥٠٠	٢٩
خط جهد عالي	١٥ كم و ٦,٢ أوم	(٦,٢ x١٠٠ x ١٠)/ ١٣٢^{٢}	٣٦
محول جهد عالي	٣٠ م.ف.أ. ١٣٢/١١ك.ف.، ٢٢,٥ %	(٢٢. x ١٠) / ٣٠	٧,٥
الكابل	١١ ك. ف. ٢ كم ٠,٢٤ أوم	(٠,٢٤ x١٠٠ x ١٠) / ١١^{٢}	١,٩٨
كابل توزيع	١١ ك. ف. ٢٠٠ م ٠,٠٤ أوم	(٠,٠٤ x ١٠٠ x ١٠) ١١^{٢}	٠,٣٣
محول توزيع	٤ م. ف. أ. ، ١١/٣.٣ ك.ف. ٧ %	(٧ x ١٠) / ٤	١٧,٥

أما بالنسبة لتأثيرات محولات التيار فيمكننا حسابها كما موضحا في الجدول رقم ٥-٢ حيث نبدأ من طرف نهاية التوزيع أي عند الأحمال تحت الحماية بواسطة المصهر وهنا نتقابل مع نوعين من المقننات للمصهر أو أكثر وعلينا أن نختار القدرة الأعلى للمصهر ليكون هو المرجع لنا عند عمل التمييز للفصل وبناء إلى هذا نضع المصهر ٢٠٠ أ المرجع مع إهمال المصهر ١٥٠ أ لأن الأول يتحمل العبء الأكبر وله التيار الأكبر ومن ثم ننطلق لتحديد مقننات المتممات بعد ذلك خطوة بخطوة في اتجاه المولد ذاته .

الجدول رقم ٥-٢ : البيانات الناتجة لشبكة التوزيع

قضبان	محول التيار	حساب مستوي القصر (MVA)	مستوي القصر	الزمن (ث)
A	١/٥٠٠	(٠,٢٩)/(١٠x ١٠٠)	٣٥٠٠	٠,٢٥
A	١/٥٠٠	(٠,٣٦+٠,٢٩)/(١٠x ١٠٠)	١٥٤٠	٠,٢٥
B	١/١٥٠	(٠,٣٦+٠,٢٩)/(١٠x ١٠٠)	١٢٣	٠,٠٧
C	٥/٥٠٠	(٧,٥+ ٠,٣٦+٠,٢٩)/(١٠ x ١٠٠)	٩٨,٧	٠,٣٣
D	٥/٢٥٠	(١,٩٨+٧,٥+٠,٣٦+٠,٢٩)/(١٠x١٠٠)	٣٥,٧	٠,٠٧
E	مصهر	(١٧,٥+٠,٣٣+١,٩٨+٧,٥+٠,٣٦+٠,٢٩)/(١٠x١٠٠)		

هذا مجدولا في الجدول رقم ٥-٢ . نجد أ القدرة عند القضبان D علي مستوي الجهد ٣.٣ ك. ف. تمثل ٣,٢٦ ك. أ. بينما تصبح ١,٨٨ أ عند ١١ ك. ف. وتعطي القراءات القياسية أن ٢,٠ ثانية كزمن قياسي لها ليصبح بعد المصهر في الخواص وعند القضبان C بمستوي قصر ٩٨,٧ م. ف. أ. أي علي جهتي المحول تصبح ١٧,٢٨ ك. أ. بجهد ٣.٣ ك. ف. أو ٥,١٨ ك. أ. عند ١١ ك. ف. وتعطي الزمن القياسي وهو ٠,٧ نقطة ضبط للزمن بالثانية أما عند القضبان A فيجب أن تكون الخواص الزمنية للمتمم من الطراز شديد العكسية ومن ثم نحصل علي الحدود الدنيا والقصوى علي النحو المبين في الجدول رقم ٥-٣ حيث تتحدد القيمة الدنيا بالأعلى السابقة حتى لا يحدث في وقت ما أن تتداخل خصائص الفصل والتي تأخذ الشكل القياسي الموضح في الرسم للمنحنيات للمتممات المتتالي في الشكل رقم ٥-٣ .

الجدول رقم ٥-٣ : حدود القصر في شبكة التوزيع المحورية

قضبان	قدرة القصر MVA (أدنى / أقصى)	زمن الفصل القياسي (ث)
A	٣٥٠٠ / ١٤٥٠	٠,٢٥ /٠,٣٩
B	١٤٥٠ / ١٢٣	٠,٠٧ / ٠,٨٦
C	١٢٣ / ٩٨,٧	٠,٣٣ / ٠,٤٢
D	٩٨,٧ / ٣٥,٧	٠,٠٧ / ٠,١٧

هكذا يظهر أن الحد الأدنى للقضبان السابق كقدرة قصر هو الأدنى لنا وبذلك يتحدد كل ما جاء في الجدول رقم ٥-٣ ويضاف إلي ذلك مدى التدرج وهو ما يحتوي علي أربعة أنواع مؤثرة وهي :

١- زمن فصل القاطع T_{CB} حيث يلزم التأكد الفعلي من تمام الفصل للقاطع المنوط قبل اتخاذ القرار الفعلي لإجراء الفصل الفعلي بالمتمم التالي .

٢- الخطأ المتوقع في ضبط زمن المتمم E_R ويقدر بنسبة مئوية وهو ذلك الخطأ أو تلك الأخطاء التي في جميع أجهزة القياس بما في ذلك محولات القياس وخصوصا محولات التيار E_{CT} ويقدر أيضا بالنسبة المئوية وهو ما يمكن أن يكون موجبا أو سالبا ولذلك يجب أن يؤخذ في الاعتبار ذلك بالنسبة لزمن التشغيل العادي الخاص بالمتمم المنوط به الفصل T .

٣- مدي زمن تكملة عملية الفصل الآمن t_{CB} (بوحدات الثانية) وهو الزمن المضاف كي نضمن من فصل الإجراء عن ما يليه وهو ما سبق الكلام عنه في النقطة السابقة لحماية زيادة التيار .

٤- زمن حركة المتمم t_o المسمى overshoot وهو ما قد يحدث من المتمم عند إلغاء الأمر إذا ما كان المتمم السابق قام بعمله كاملا ويكمل جزءا بسيطا من المشوار بالرغم من إلغائه وقد تكون النتيجة الفصل غير المطلوب هندسيا أو العزم الذاتي أو بخصائص أجزاء الجهاز الحركي داخل المتمم mechanism ولذلك يجب إبعاد الضبط عن هذه الاحتمالات .

ومن الخبرة العملية يمكن الحصول علي ضبط الزمن المناسب للفصل t بالصيغة :

$$t = [(2E_R + E_{CT}) /100]\, T + t_{CB} + t_o + t_s \qquad (5\text{-}10)$$

كما تختفي قيمة الخطأ في محول التيار E_{CT} نتيجة الاعتماد علي المتممات ذات استقلالية زمن الفصل المتأخر المحدد والتي تعرف باسم independent definite time delay وبهذا الأسلوب نصل إلي أن العلاقة بين التيار والزمن ليست منحنى واحد بل تتحرك بين منحنيين كما نشاهده في الشكل رقم ٥-٨ حيث يظهر الحد الأقصى وكذلك الأدنى نتيجة هذه التغيرات في قيمة الزمن تبعا للمعادلة رقم ٥-٧ .

التيار
الحد الأقصى
الحد الأدنى
الزمن

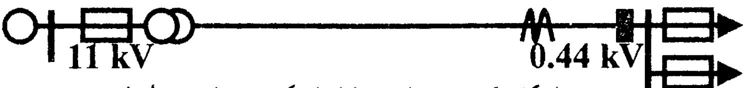
الشكل رقم ٥-٧ : العلاقة العملية الفعلية لخواص عمل المتممات العكسية

إذا ما كانت محولات التيار في شبكة توزيع محورية بذات الخصائص ونفس النسبة نرى أن هذه المنحنيات المتتالية تأخذ نفس الشكل بمدى فرق ثابت علي طول العلاقة بينما عند اختلاف أي من هذه المحولات نري أن المنحنيات المتتالية تتباين في قيمة الفرق بين كل منهم والتالي له (الشكل رقم ٥-٨) إضافة إلي أن المدى بين المنحنيات لا يهمل عند وضع التتابع الزمني لخصائص الفصل وهو الموضح علي الرسم .

تيار
خصائص فصل متتابع بنفس نوعية CT وذات النسبة
نوعيات محولات التيار CT مختلفة علي الشبكة
الزمن

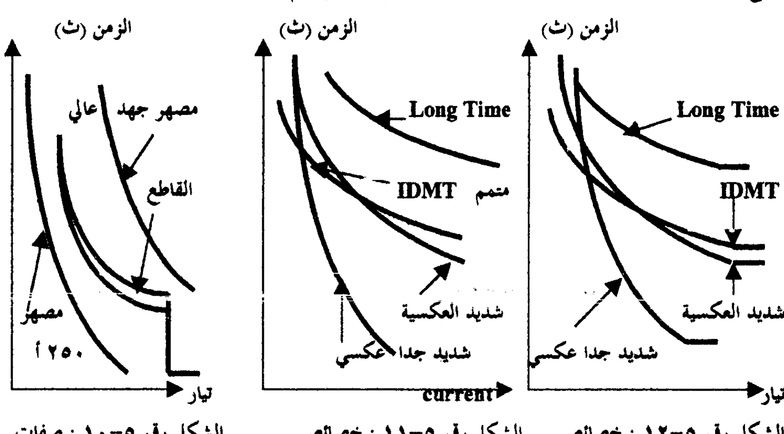
الشكل رقم ٥-٨ : تأثير محولات التيار علي خصائص الفصل

التدرج الزمني للفصل في شبكات التوزيع يعتمد علي مقاومة كل جزء بجانب نوعية كل متمم لزيادة التيار ومحولات التيار أيضا وعندئذ للمتممات سواء كانت تلك العكسية أو شديدة العكسية very inverse أو محددة الزمن أو المحددة لأقل زمن فصل inverse definite minimum time يحدد أقل مدي مسموح للتدرج الزمني كما في المعادلة ٥- ١٠ وهو ما يجب وضعه في الاعتبار عند الضبط .



الشكل رقم ٥-٩ : الرسم الخطي لشبكة محورية لتوزيع الأحمال

عند تداخل المتممات مع المصهر أو العكس فقد تبينا حالة المصهر في النهاية الطرفية للشبكة ولذلك ندرس الحالة المغايرة وهو كما معطي في الشكل رقم ٥-٩ وفيها يستخدم متمم واحد علي محول تيار بينما قبله مصهر ٧٥ أ جهد ١١ ك. ف. وبعده كذلك مصهر ٢٥٠ أ جهد ٤٤٠ ف وبقدرة قصر قصوى قدرها ١٢ ك. أ. وتصبح الخواص كما في الشكل رقم ٥-١٠ بينما يعطي الشكل رقم ٥-١١ المنظر العام للخواص لكل من أنواع المتممات المختلفة من المتممات الكهروديناميكة وفي الشكل رقم ٥-١٢ للمتممات الاستاتيكية .



الشكل رقم ٥-١٠ : صفات الفصل الزمني في الشبكة

الشكل رقم ٥-١١ : خصائص المتممات الكهروديناميكية

الشكل رقم ٥-١٢ : خصائص المتممات الاستاتيكية

نحدد العلاقات الرياضية للمتمم بالصفات العكسية القياسية المعتادة standard inverse وهي التي تتبع المعادلة :

$$t = 0.14 / (I^{0.12} - 1) \quad (5\text{-}11)$$

قيمة الأس قد تتغير من ٠,١٢ إلي ٠,٠٢ أما بالنسبة للمتمم شديد العكسية very inverse تكون العلاقة هي

$$t = 13.5 / (I - 1) \quad (5\text{-}12)$$

أما بالنسبة للمتمم حاد العكسية extremely inverse فتأخذ الصيغة

$$t = 80 / (I^2 - 1) \quad (5\text{-}13)$$

وبالنسبة للمتمم طويل المدى long time standby فينخفض معامل الحدة ونحصل علي القانون

$$t = 120 / (I - 1) \quad (5\text{-}14)$$

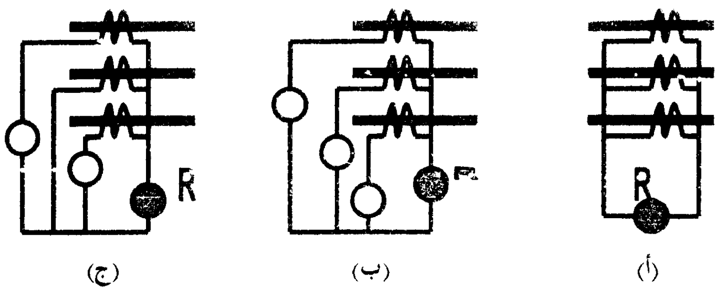
وفي جميع الأحوال يجب أن يتحدد زمن ثابت لضبط المتمم واعتبار الخطأ فيه موجب من ناحية وسالب من الأخرى ولا يجب أن يزيد الخطأ عن ٧,٥ % من الزمن الفعلي للفصل ، ويشير الرسم إلي أن المتممات الديناميكية قد تختلف في نوعية الفصل حيث يكون محدد القيمة بالنسبة للمتممات الاستاتيكية .

ثانيا : التيار الأرضي Earth Current

متمم التيار الصفري (الأرضي) من أهم أنواع الوقاية الأساسية سواء في الشبكات الكهربية أو في شبكات التوزيع والأبنية المنزلية أ والصناعية وهو يعتمد علي قياس نوعين مختلفين من التيارات هما :

النوع الأول : متمم التيارات المتبقية residual currents

هذا النوع يقيس التيارات المتبقية المعبرة عن التيار المار إلي الأرض أثناء حدوث الخطأ **fault** وهو لا يتأثر بتيارات الأوجه حيث تستخدم المتمم **R** في الدائرة المبينة بالشكل رقم ٥-١٣حيث أن الأكثر شيوعا تطبيقا هي تلك الدائرة في الشكل ٥-١٣(ج) حيث يتم توفير متمم من الدائرة وتعطي نفس الكفاءة ، ولكن هذا النوع من المتممات يستطيع تحديد ما إذا كانت هذه التيارات متماثلة **balanced** أم لا ولهذا يتم ضبط المتمم عند حدود معينة لعدم اتزان الشبكة وهي عادة تأخذ نسبة ضئيلة من التيارات القصوى للحمل إضافة إلي أن التيارات المتسربة إلي الأرض لا بد وأن تضاف إلي التيارات المتبقية عند الضبط . كما يمكن ضبط متمم التيار الأرضي علي مستوى منخفض لأنه دائما ما تكون الأخطاء مرتبطة بالأرض وهي تعتمد في نفس الوقت علي نظم اتصال نقطة التعادل **neutral** مع الأرض الشبكات .



الشكل رقم ٥-١٣ : أشكال دائرة الوقاية لقياس التيار المتبقي بالمتمم R

وهناك بعض التأثيرات تربط كلا من تيارات الأوجه وتيار الأرضي مرتبطة بخصائص محولات التيار ولذلك يجب أن يدخل في دائرة قياس التيار الأرضي محولات تيار أكبر عن تلك اللازمة لتيارات الزيادة والسابق الحديث عنها ، كما لا يتوقف الأمر عند هذا الحد بل أن الجهد العامل علي الشبكة ينخفض بشدة مما ينقل نقطة العمل operating point بالنسبة لمحولات التيار إلي مستوي منخفض عن مثيله العامل عند الجهد المقنن ويزيد هذا التأثير عند انخفاض الجهد عليه والدوائر المتصلة علي التوازي(الشكل ٥-١٤) .

V
خصائص عادية
نقطة عمل
خصائص انخفاض
الجهد
I

الشكل رقم ٥-١٤ : انتقال نقطة العمل لانخفاض الجهد

نضيف أيضا أن تراكم الفقد في التيار المغناطيسي بمحول التيار بدائرة متمم تيار الأرضي وبتلك المجاورة له والمتصلة علي التوازي قد يصل مجموع الفقد المغناطيسي بنقطة العمل إلي حد بعيد عن تلك الحقيقية خصوصا مع الضبط للتيار I_s والجهد V_s حيث تكون العلاقة تابعة للمعادلة

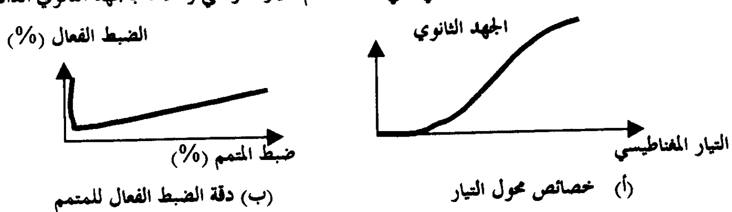
$$\text{effective } I_s = \text{relay } I_s + \text{total exciting current} \quad (5\text{-}15)$$

يكون هذا المجموع بالمتجهات vectors بالنسبة للمتممات الاستاتيكية بنما يقرب إلي جمع جبري مع المتممات الكهروديناميكية لقرب معامل القدرة فيها ويعبر الجدول رقم ٥-٤ عن دقة ضبط متمم قياس تيار الأرضي وعلاقته مع التيار المغناطيسي I_e بمحول التيار ، وبالنسبة لتدرج الفصل الزمني لتيارات الأرضي نتبع نفس القواعد الخاصة بمتممات زيادة التيار مع الأخذ في الاعتبار أن الخطأ الناتج عن انخفاض الجهد والفقد في محولات التيار المتوازية معه كهربيا تزيد من الفارق بين أقصى تيار وأدنى قيمة لخواص التشغيل .

الجدول رقم ٥-٤ : الضبط الفعال لمتمم تيار الأرضي

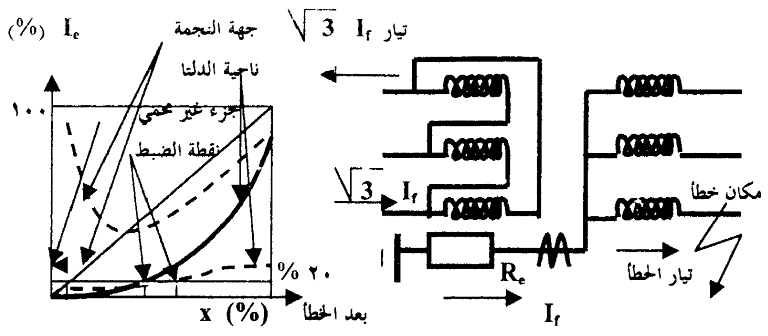
تيار (أ)	ضبط تيار (%)	ضبط جهد(ف)	I_e (أ)	$3I_e$ (أ)	تيار فعال (أ)	ضبط فعال (%)
٠,٢٥	٥	١٢	٠,٥٨	١,٧٥	٢	٤٠
٠,٥	١٠	٦	٠,٤	١,٢١٥	١,٧١٥	٣٤,٣
٠,٧٥	١٥	٤	٠,٣	٠,٩	١,٦٦	٣٣
١	٢٠	٣	٠,٢٧	٠,٨١	١,٨١	٣٦
٢	٤٠	١,٥	٠,١٧	٠,٥١	٣,٥١	٥٠
٣	٦٠	١	٠,١٢	٠,٣٦	٣,٣٦	٦٧
٤	٨٠	٠,٧٥	٠,١	٠,٣	٤,٣	٨٦
٥	١٠٠	٠,٦	٠,٠٨	٠,٢٤	٥,٢٤	١٠٥

يقدم الشكل ٥-١٥ تأثير التيار المغناطيسي علي ضبط متمم التيار الأرضي وعلاقته بالجهد الثانوي الدائرة .



الشكل رقم ٥-١٥ : خصائص الضبط الفعال لمتمم التيار الأرضي

توضح هذه الخصائص إلي ضرورة وضع هذه الصفات غير الخطية في الاعتبار عند الضبط وأن العملية الفعلية لا تتوقف علي حساب التيار فقط بل علي أزمنة الفصل وضبطها لتلافي العيوب الفنية في طبيعة عمل الأجهزة الداخلة في دائرة الوقاية ، ويبين الشكل رقم ٥-١٦ أن التيار الأرضي يعتمد علي مكان الخطأ وكذلك قيمة مقاومة الخطأ والتي تدخل في الاعتبار في قيمة التيار مسبب الفصل وكذلك تؤثر قيمة مقاومة الأرضي بين التعادل والأرض علي نسبة الجزء غير المحمي من المحول بطريقة التيار الأرضي ،كما يظهر أن طريقة قياس تيار الأرضي إما أن تعتمد علي مجموع التيارات في الأوجه مثل الشكل رقم أو علي القياس المباشر لقيمة التيار المار إلي الأرض مثل الشكل رقم ٥-١٦ . أيضا تشير العلاقات بالخط غير المتقطع عن حالة وجود مقاومة بين نقطة التعادل والأرض بينما تبين الخطوط المتقطعة حالة التوصيل المباشر بين نقطة التعادل والأرض ويظهر من الرسم أن التيار الأرضي يتناسب مع كلا من مقاومة الأرضي والبعد عن موقع المتمم الأرضي .



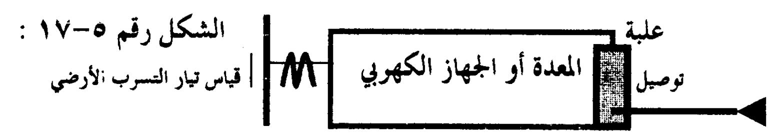
(أ) الشبكة الكهربية وبها خطأ للأرض علي أحد الأوجه لمحول دلتا / نجمة

(ب) خصائص الضبط لنسبة التيار من الحمل والبعد كنسبة من أقصي بعد خطأ محسوس

الشكل رقم ٥-١٦ : قياس مباشر للتيار الأرضي

النوع الثاني : متمم التيارات المتسربة الأرضية Earth Leakage currents

يختلف هذا النوع من التيارات عن تلك السابقة لأن التيارات المتسربة إلي الأرض تعتمد علي ما يسمى باسم جهد التلامس touch voltage ولذلك نجد هذا النوع قد يسمى تيار التسرب من الأجسام المعدنية إلي الأرض Frame Leakage Current كما هو موضح في الشكل رقم ٥-١٧ حيث نجد محول التيار موصلا بين جسم المحول أو الماكينة الكهربية والنقطة الصفرية للأرض وهي تلك الوصلة التي يمر بها تيار التسرب إلي الأرض وهو غير ذلك تيار الخطأ ولكنه يمثل خطورة إذا ما تخطى حدودا معينة وهو من أهم المتممات التي تستخدم مع الأجهزة الدقيقة وعند تعامل الأطفال أو في المعامل المدرسية وما شابه ذلك .



الشكل رقم ٥-١٧ : قياس تيار التسرب الأرضي

هكذا تتباين هذه الدائرة عن تلك لزيادة التيار وعن قياس تيار الأرضي من حيث الجوهر وهي لها حدودا فنية وتعتمد أغلب التقنيات علي أسلوب المتممات التفاضلي وهو ما سوف نراه فيما بعد من هذا الفصل ويعطي الجدول رقم ٥-٥ بيانا بقيمة التيار المتسرب إلي الأرض تبعا لقيمة مقاومة التأريض .

الجدول رقم ٥-٥ : مقننات التيار المتسرب تبعا للقيمة القياسية

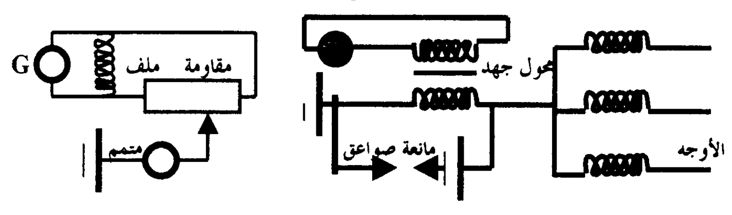
مستوى الحساسية	تيار التسرب (أ)	المقاومة (أوم)
منخفضة	٢٠	٢,٥
	١٠	٥
	٥	١٠
	٣	١٧
متوسطة	١	٥٠
	٠,٥	١٠٠
	٠,٣	١٦٧
	٠,١	٥٠٠
عالية	٠,٠٣	أكبر من ٥٠٠
	٠,٠١٢	
	٠,٠٠٦	

الأجهزة الكهربية المعتادة ذات مستوي منخفض فنجد تيار التسرب لجهاز الفاكس يتراوح بين ٠,٥ و ١ ميلي أمبير بينما للطابعة أكبر من ١ والحاسب الإلكتروني بين ٢ و ١ وآلة تصوير المستندات بين ١,٥ و ٠,٥ ميلي أمبير وعلينا للضرورة أن نضع بعض الرموز الهامة والتي تتعلق بهذه المتممات من حيث تأثير البيئة الخارجية عليها أو تأثير تلك الملحقات بالدائرة علي النحو الوارد في الجدول رقم ٥-٦ علي سبيل المثال . التلامس غير المباشر مع الأجسام المعدنية يظهر أكثر مع دوائر التوزيع في المخارج حتى ٣٢ أ والمنشآت عموما وتلك المؤقتة علي وجه الخصوص وكذلك الحمامات وبالخصوص حمامات السباحة وفي المنشآت الزراعية ومع الكابلات والمغذيات وفي شبكات التدفئة والتكييف المنزلية والمكتبية في الحالتين سواء داخل الحائط أو التربة الأرضية .

الجدول رقم ٥-٦ : بيان ببعض الرموز الهامة الخاصة بخصائص المتممات

الرمز	بيان الخصائص
	عدم تأثير عوامل الشوشرة الخارجية علي المتمم
	يستخدم مع دوائر التيار المتردد (Class AC)
	يستخدم مع دوائر التيار المتردد والتي تحتوي أحيانا علي النبضات لتيار مستمر من جراء تواجد أجهزة إلكترونية مثل الموحدات ومغيرات السرعة الإلكترونية وغيرهم (Class A)
	مثل النوع السابق ولكن مع الدوائر التي تحتوي علي مركبة تيار مستمر بصفة مستمرة (Class B)

نستطيع هنا إضافة أسلوبا مشتركا بين الجهد والتيار للبحث عن الأخطاء إلي الأرض بالاستعانة بمحول جهد كما نشاهد في الشكل رقم ٥-١٨ (أ) أو أسلوب الإحساس بهذا الخطأ مع المهيج الخاص بالمولدات كما نراه في الشكل ٥-١٨(ب) وهناك العديد من التطبيقات الفعلية لمثل هذا الأسلوب مع إدخال مقاومات للضبط والاتزان في دائرة الوقاية المخصصة للوقاية من الخطأ إلي الأرض توصيلا .



(أ) قياس تيار الأرضي بمحول جهد (ب) حماية أرضية لمولد

الشكل رقم ٥-١٨ : طرق أخرى لقياس تيار الأرضي

تتأثر الطرق المختلفة بأسلوب التأريض للشبكة ذات الجهد العالي وبقيمة المقاومة بين نقطة التعادل والمستوى الصفري للجهد الأرضي وهو ما يجعل هذه الأعمال معقدة عند الحساب بل ويتجه التطبيق نحو وضع قواعد معاملات الزحزحة في التصميم وهو ما يعرف في بعض التصميمات بمعامل الأمان .

ثالثا : الحمل الزائد Over Load

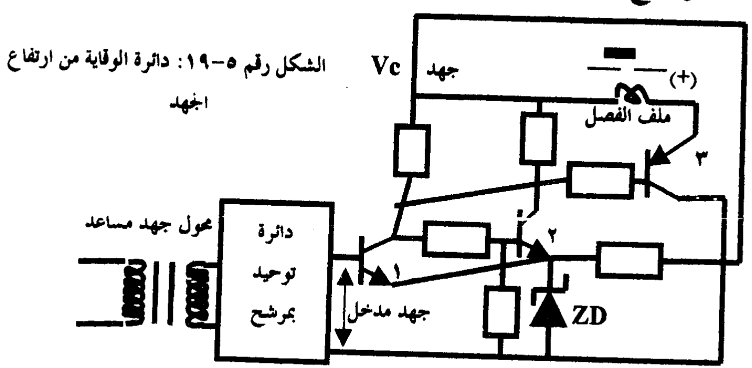
تلعب الطاقة الحرارية الدور الأعظم في الوقاية من الأحمال المرتفعة أو تجاوزاتها والمعروفة باسم الحمل الزائد وعادة ما يكون التصميم فيه هذه المقننات ولذلك فأي معدة أو جهاز كهربي يتحمل المقنن الكامل للحمل لمدة تشغيل مستمرة دون انقطاع بينما إذا ما زاد الحمل عن المقنن نكون قد خرجنا عن الحدود الصحيحة للتشغيل ولكنه بالرغم من ذلك نجد أن أي من هذه المعدات يكون قادرا علي التشغيل علي حمل أكبر من ذلك المقنن الكامل ولكن لمدة زمنية محددة وكلما ارتفع الحمل كلما قلت الفترة الزمنية المسموح فيها بالتشغيل بدرجة عكسية شديدة الطابع ولذلك نجد أن مثل هذا النوع من الوقاية هام لجميع المعدات الكهربية بلا استثناء علي عكس تلك المسماة زيادة التيار أو التسرب الأرضي وهذا نراه مؤكدا عند التعامل علي جهد التوزيع حيث قد تختفي النوعيات الأخرى من الوقاية . تعتمد الفكرة الفنية علي المزدوج الحراري والمكون من معدنين مختلفي معامل التمدد وبالتالي مع التحرك الحراري يتمدد أحدهما بقدر مخالف للآخر فيسبب الحركة الديناميكية المسببة لتلامس الأطراف وبالتالي يؤدي إلي الفصل . هذا ونجد أن درجة الحرارة قد ترتفع إما عن توقف وسائل التبريد

أو جزء منها أو بتحميل الملفات بتيار فوق المقنن وهو المعروف باسم الحمل الزائد أو تجاوز الحمل ، ونستطيع تحديد قياس الحرارة بوضع ثرمومتر في أحد الفتحات المتاحة مع الملفات أو مع دائرة التبريد وقد تعمل بذلك عن طريق دائرة الحمل المتجاوز علي فصل الدائرة الرئيسية عن بقية الشبكة حماية لها من الارتفاع الحراري المتزايد زمنيا وبطريقة عكسية مع الزمن .

٥-٢ : حماية الجهد *Voltage Protection*

يختلف الجهد عن التيار من وجهة نظر الحماية لأن النقص في التيار لا يسبب أية خطورة بينما يظهر الخطر مع زيادة التيار ولذلك وجدنا أن الوقاية ضد زيادة التيار هي التي جاءت في البند السابق ، أما بالنسبة للجهد فزيادته تمثل خطورة علي العزل الموجود تحت التشغيل وهو خطر كبير ولكن الاختلاف يظهر عند انخفاض الجهد عن حد معين والذي يضع نقاط التشغيل في مكان مختلف أو في وضع رديء فيحدث الخلل في تشغيل الشبكة ومن ثم تمثل خطورة عليها ولهذا السبب نحتاج إلي وقاية الشبكة من هذه الحالة وهكذا سوف نتناول فيما يلي موضوعي تغير الجهد سواء بالزيادة أو النقصان .

أولا : ارتفاع الجهد Over Voltage



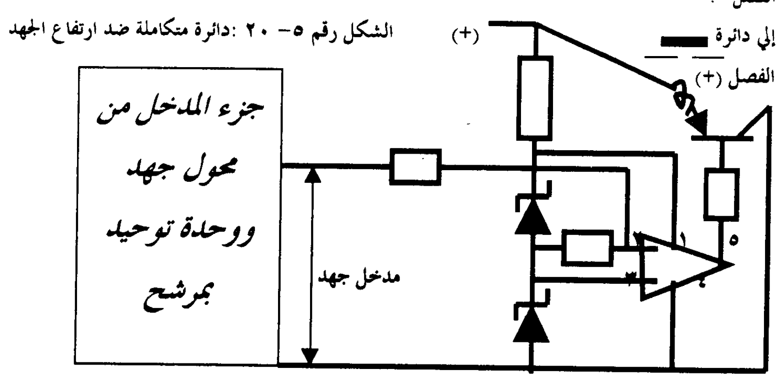
الشكل رقم ٥-١٩: دائرة الوقاية من ارتفاع الجهد

الوقاية ضد ارتفاع الجهد عن الحد المقنن **nominal** يمثل الضرر البالغ ومن ثم وجب التخلص من هذا الجزء المسبب ارتفاعا في الجهد كي تعود الشبكة إلي حالة الاستقرار في التشغيل وتستمر التغذية للمواقع المختلفة ويعطي الشكل رقم ٥- ١٩ دائرة شميث المطبوعة **Schmitt Trigger** والمكونة من الترانزيستور حيث يعطي لكاشف المستوي الجهد المقنن المرجعي **Reference** وإذا تجاوزت القيمة هذا الحد يعمل علي تشغيل المتمم خصوصا وأن المدخل هو ذات

الجهد المقنن والذي يتم بالمقارنة مع الجهد الفعلي اللحظي من خلال زينر دايود (Ziner Diode ZD) فيعطي تيارا من الترانزيستور رقم ١ وبتحول الترانزيستور رقم ٣ للتوصيل فيصل الجهد إلي ملف الفصل .

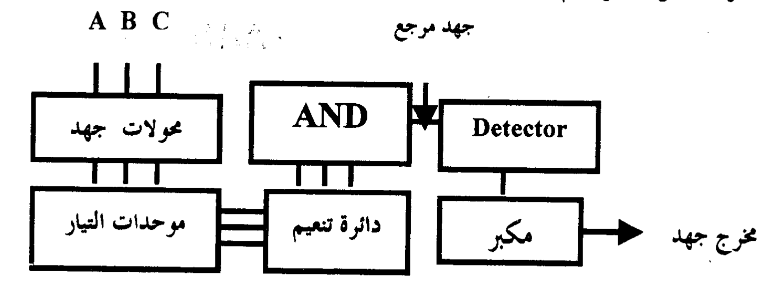
تستخدم الدوائر المتكاملة كما جاءت بشكل مبسط في الشكل رقم ٥- ٢٠ حيث جهد المرجع يظهر علي الطرف ٢ للمكبر وعلي هذا لا بد وأن يظهر الترانزيستور في حالة وضع عكسي وبتجاوز القيمة المرجع يصل الجهد إلي ملف الفصل .

الشكل رقم ٥- ٢٠ :دائرة متكاملة ضد ارتفاع الجهد



ثانيا : انخفاض الجهد Under Voltage

تعتبر حالة انخفاض الجهد من أخطر الحالات التي قد تتسبب في العديد من المشكلات ولذلك يوضع عليها العبء كي نتفادى هذا الوضع وذلك بأسلوب الوقاية فنري في الشكل رقم ٥- ٢١ دائرة صندوقية توضح خطوات العمل لتشغيل متمم عند انخفاض الجهد في دائرة ثلاثية الوجه .



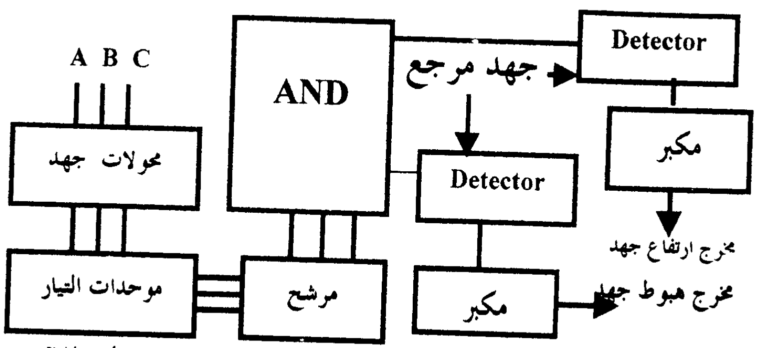
الشكل رقم ٥-٢١ : دائرة الوقاية ضد انخفاض الجهد في شكل صندوقي علي الأوجه الثلاثة

تظهر هنا الحاجة لتحديد عددا من الرموز للتعامل بسهولة مع هذا النطاق التطبيقي وهي كما جدولت في الجدول رقم ٥-٧ طبقا لما جاء في المواصفات القياسية الدولية .

الجدول رقم ٥-٧ : بيان بالرموز القياسية للمتممات لزيادة أو خفض الجهد

الرمز	البيان التفصيلي للرمز
U >	متمم وقاية ضد ارتفاع الجهد يحتوي علي نقطة تلامس مفتوحة
U >	متمم وقاية ضد ارتفاع الجهد يحتوي علي نقطة تلامس مقفولة
U >	متمم وقاية ضد هبوط الجهد يحتوي علي نقطة تلامس مفتوحة
U>	متمم وقاية ضد ارتفاع الجهد
U< 50, 80V 130%	متمم وقاية ضد ارتفاع الجهد له حدود ضبط من ٨٠ - ٥٠ ف ونسبة الاستعادة ١٣٠ %

يمكن أن تعمل بسهولة دائرة الوقاية ضد هبوط الجهد في نفس الوقت للوقاية من ارتفاع الجهد ويوضح هذا الشكل رقم ٥-٢٢ وفي هذه الحالة تعمل الدائرة كدائرتين بحدود الضبط المعتادة فمثلا لهبوط الجهد للمدى من ٨٠ إلي ٩٠ % ولارتفاع الجهد ١٠٥ - ١٢٠ من القيمة المقننة أما نسبة الاستعادة فتكون ٩٨ - ٩٩ % للارتفاع و ١٠١ - ١٠٢ للهبوط وبدقة سماح ١ % عند درجة الحرارة المعتادة ، نجد أن زمن التشغيل في الدوائر المتكاملة والاستاتيكية قصير (٦٠ ١ ميلي ثانية بقدرة ٠,٢ ف. أ. / ٣٣٠ ق و ٤ و / ٢٤ ف DCوهو يعمل بدقة في كل الحالات مثل عدم التماثل أيضا أو عند انقطاع أحد الأوجه .



الشكل رقم ٥-٢٢ : دائرة الوقاية ضد هبوط أو ارتفاع الجهد في شكل صندوقي على الأوجه الثلاثة

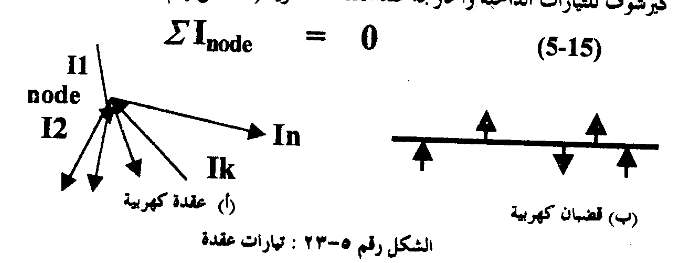
٥-٣ : الحماية التفاضلية *Differential Protection*

انطلاقا من قانون كيرشوف المحدد بأن مجموع التيارات عند العقدة الكهربية يساوي الصفر بدأ الاعتماد علي التأكد من التيارات الداخلة ومساواتها بتلك الخارجة من عقدة معينة ثم تطور التفكير ومن ثم التطبيق كي تعبع مع القضبان الكهربية (الشكل رقم ٥-٢٣) والتي تمثل عقدة من الناحية الكهربية بالرغم من امتدادها لمسافات بطول المحطات الكهربية ثم تطور التطبيق إلي الملفات وهكذا ولذلك نضع المبادئ الخاصة بهذا الموضوع في أبسط صورة ممكنة كي تساعد علي فهم المسألة ككل وسوف نتناول هذا الجزء علي النحو التالي .

أولا : حماية العقدة بقانون التيار Current Node Performance

قانون كيرشوف للتيارات الداخلة والخارجة عند العقدة متساوية (الشكل رقم ٥- ٢٣) ونعبر عنها بالصيغة:

$$\Sigma I_{node} = 0 \qquad (5\text{-}15)$$



الشكل رقم ٥-٢٣ : تيارات عقدة

من هذا المعنى نحصل علي أن الحالة العادية للتشغيل تعني أن قانون كيرشوف يؤكد علي سلامة التغذية من المنبع إلي المستهلك بينما عند حدوث خطأ في التوصيل أثناء التشغيل فالقانون سوف يؤكد علي وجود هذا الخطأ وبهذا نستطيع الاستفادة منه لعمل دائرة وقاية ضد الخلل في التوصيلات عند العقدة الكهربية حيث أن مجموع التيارات سوف يتساوى بدخول جزء جديد عند العقدة ونضبط هذا بأن نحصل علي مجموع التيارات العاملة عند النقطة سواء كانت تعمل في كل وقت أم لا وإذا ما حدث خلل سوف يظهر الفارق بين هذه المقارنة بين التيارات الداخلة والخارجة تبعا للمعادلة الناتجة عن قانون كيرشوف أيضا وهي

$$\Sigma \text{ currents in a node } = \Sigma \text{ currents out it} \qquad (5\text{-}16)$$

متمم التيار الأرضي قد يتبع هذا النوع من المقارنة مثل ما جاء في الشكل رقم ٥-٢٤ حيث نجد أن المتمم يقارن بين مجموع تيارات الأوجه والتيار المتسرب إلي الأرض مع تواجد مقاومة للحفاظ علي فارق عدم الاتزان **balance resistance** الذي قد يتواجد خصوصا مع شبكات التوزيع وهذا التيار هو المعروف بقيمته التي تساوي ثلاث أضعاف قيمة تيار المركبة الصفرية I_o وهو **zero sequence current** . بهذا المبدأ بدأت التطبيقات العديدة والمتنوعة في مجال الوقاية بالشبكات والمحطات والمصانع وخصوصا لحماية الأجزاء الهامة بالشبكة كما سنضع البعض الأساسي منها فيما هو آت .

الشكل رقم ٥-٢٤ : متمم تيار أرضي بالأسلوب التفاضلي

كما نجد الجدول رقم ٥-٨ يعطي بعضا من مقدار التسرب التفاضلي للتيار الأرضي والمحدد قياسيا بالنسبة لضبط المتممات لبعض الأنواع المتداولة بالفعل.

الجدول رقم ٥- ٨ : بيان بعلاقة تيار التسرب (بالملي أمبير) بالطريقة التفاضلية مع زمن الفصل

خاصية الفصل	تيار التسرب المخصص	تيار التسرب التفاضلي
زمن فصل الدائرة	٦ ملي أمبير — ٢٠ أ	٠,٥
زمن عدم فصل الدائرة	أكبر من ٣٠ ملي أمبير	٠,١٢
زمن الفصل	غير محدد	٠,٥

تخضع العملية التفاضلية لعدد من المبادئ الجوهرية هي :

١- دقة الاختيارية سواء الأفقية أو الرأسية من حيث زمن الفصل والتتابع الفعلي دون تداخل في الخصائص المحددة للأداء في دوائر الوقاية المختلفة الواقعة علي الشبكة وتظهر أهمية ذلك مع شبكات التوزيع .

٢- مقدار تيار التسرب يجب أن يقل تحت نصف القيمة عن المنطقة السابقة في الشبكة .

٣- الضبط التام والذي يراعي تواجد أي من مانعات الصواعق في الدائرة والالتزام بتأخير الفصل لتيار التسرب عن زمن عمل مانعات الصواعق .

٤- وضع عملية تشغيل المصابيح الفلورسنت المستخدمة بكثافة عالية في بعض المناطق وخاصة الصناعية كمعامل هام في ضبط متممات التسرب الأرضي .

٥- تحديد مدي تيارات البدء لتشغيل المحركات في المناطق الصناعية .

٦- دراسة الأحمال خصوصا مع الأحمال السعوية .

٧- التأكد من الظواهر الكهرو مغناطيسية والتفريغ الاستاتيكي في بعض الحالات .

ويمكن تحسين مستوى الأداء للمتممات هذه بعدد من المعالجات هي :

١- رفع درجة دقة وحساسية محولات التيار المستخدمة حلقيا عند أطراف المغذيات .

٢- توزيع الموصلات علي الأطوار تماثليا حول نقطة التعادل .

٣- التأريض الجيد لمحولات التيار منعا لتيارات التسرب الأرضي منها وتزيد قيمته أو تقلله حسب الأحوال .

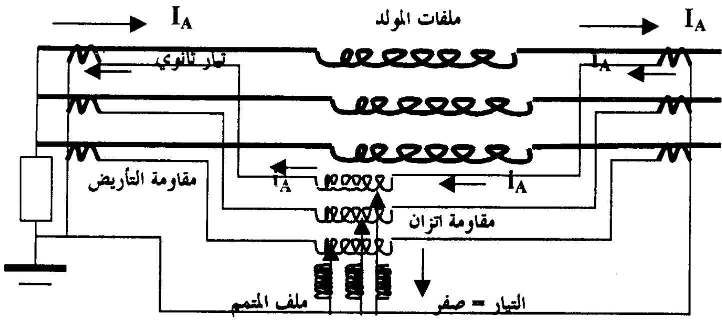
ثانيا : حماية الملفات Winding *Protection*

تحتاج الملفات إلي العناية المركزة ضد أية أخطار قد تلحق بها نتيجة التشغيل ومن أدق أنواع الحماية للملفات تأتي الوقاية التفاضلية والتي تعتمد علي قانون التيارات وهي بذلك تعتبر من أهم أنواع الوقاية للملفات سواء كانت للمولدات أو المحولات أو المحركات أو الممانعات عموما وخصوصا تلك العاملة في شبكات الجهد العالي والفائق مع الخطوط الطويلة ، كما أن الخطوط الكهربية قد خضعت للوقاية التفاضلية في بدايات التطبيق العملي لذلك ولكنها تطورت فيما بعد كما سوف نتعرض له لاحقا ، أما بالنسبة للقضبان في المحطات فقد تعاملت مع نظام الوقاية التفاضلية بنجاح تام وهنا سوف نستعرض وقاية الملفات بشكل مسلسل في السطور القادمة وبشكل مبسط .

١- وقاية ملفات المولد Generator Winding

تتبع الملفات نوعا هاما ورئيسيا من الناحية التفاضلية ولذلك لا بد وأن تتواجد دائرة الوقاية التفاضلية علي ملفات المولد وذلك من أجل الحفاظ علي الملفات (الشكل رقم ٥- ٢٥) غير أن هذا النوع من الوقاية يهدر جزءا صغيرا من الملفات القريبة من جهة الأرض ونقطة التعادل ويعتمد قدره كنسبة مئوية من كل الملفات علي

كلا من قيمة المقاومة بين نقطة التعادل ونقطة الجهد الصفري بالأرض حيث نجد أن الإحساس بتواجد هذا الخطأ منعدما بالرغم من طريقة المفاصلة بين طرفي ملف كل وجه علي حدة وهذا يحدث ويكون خطيرا لأن الملف بهذا الجزء الصغير يعمل كمولد بقدرة تتعابل مع عدد اللفات التي عليها القصر .



الشكل رقم ٥– ٢٥ : دائرة وقاية تفاضلية لملفات مولد

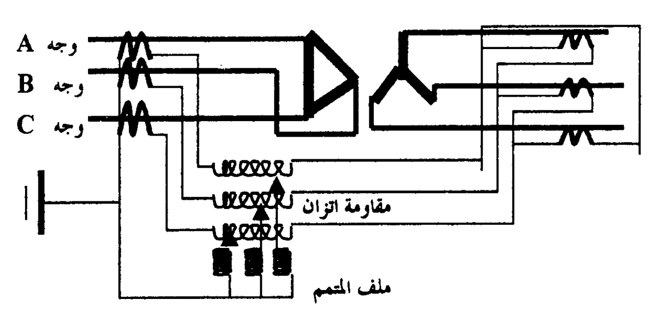
يستقبل محول التيار قيمة التيار الموجود في الدائرة الرئيسية بنسبة التحويل الخاصة به وبالرغم من أن التيار المار في الوجه هي دائرة توالي إلا أن قيمته قد تتغير نتيجة تيارات التسرب الناتجة عن الجهد العالي للملفات وما يتبعه من تيارات تسرب إلي الأرض ولهذا قد يحدث هذا الاختلاف بين القيمة المحسوسة من محول التيار في جهة الخروج عن تلك من جهة الأرض وهنا يلزم الضبط لهذه القيمة حتى لا يعمل المتمم فصلا زائفا وهذا يتم من خلال مقاومة اتزان علي كل وجه في الدائرة الثانوية ويتم الضبط عليها ، إضافة إلي هذا فالتيار المار في ملف المتمم يساوي الصفر في حالة التشغيل المستقر بينما يمر التيار فيه إذا وجد فرق بين التيارين كما بالرسم .

بالنسبة للجزء المحمي من الملفات فهو كبير ولكن لا نستهين بذلك الجزء الصغير غير المحمي خصوصا إذا ما كانت المقاومة بين نقطة التعادل والأرض كبيرة ولذلك يجب أن تؤخذ في الحساب عند الضبط لما له من تأثير مباشر علي الضبط كما أن التيار الأدنى لتشغيل المتمم له تأثير أيضا ، وسوف نتعامل مع هذا الموضوع من خلال المسائل في نهاية هذا الفصل بالإضافة إلي غيرها من المسائل في نهاية الكتاب بإذن الله خصوصا وأن المبتدئ من المهندسين أو الفنيين في هذا المجال لا يظن أبدا أن هناك أي جزء من الملفات غير محمي .

٢– وقاية ملفات المحول Transformer Winding

ننتقل إلي ملفات المحولات وهنا يجب الحذر من نسبة التحويل بين ملفات الجهد العالي إلي المنخفض أو العكس ومن ثم لابد وأن نحافظ علي إعادة هذه النسبة عكسيا مع محولات التيار علي الجانبين وهو ما يتم من خلال

التوصيلات المختلفة للمحولات فمثلا إذا كان المحول القدرة (نجمة / نجمة) يمكن أن توصل محولات التيار إما (نجمة / نجمة) أو (دلتا / دلتا) وهو ما ينطبق أيضا للمحول (دلتا / دلتا) ، وعلي نفس المنوال إذا كان المحول (نجمة / دلتا) فهنا الحذر ولا بد وأن يكون توصيل محولات التيار عكس تلك لمحو ل القدرة فتكون (دلتا / نجمة) والعكس بالعكس (الشكل رقم ٥-٢٦) حيث الرسم يخص المحول دلتا / نجمة ، وتوجد هذه العملية بصورة قياسية لتحويل نوعية التوصيل كما في الجدول رقم ٥- ٩ والذي يحصر كافة أنواع الملفات للمحولات .



الشكل رقم ٥- ٢٦ : دائرة وقاية تفاضلية لملفات محول نجمة دلتا

الجدول رقم ٥-٩ : بيان بالتوصيل المتبع لمحولات التيار نسبة إلي محولات القدرة العاملة عليها

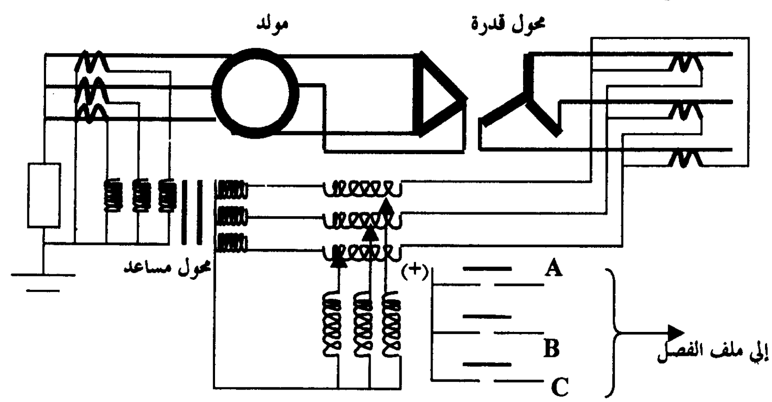
مسلسل	ملفات محول القدرة (ابتدائي / ثانوي)	ملفات محولات التيار (جهة الابتدائي/ جهة الثانوي)
١	نجمة / نجمة مؤرض	دلتا / دلتا
٢	دلتا / نجمة مؤرضة	نجمة / دلتا
٣	نجمة مؤرضة / دلتا	دلتا / نجمو
٤	دلتا / دلتا	نجمة / نجمة
٥	نجمة مؤرضة / دلتا بمحول تأريض علي الثانوي	دلتا / نجمة
٦	نجمة / نجمة بملف ثالث	دلتا / دلتا

بنفس المبدأ السابق تطبيقه علي المولدات يكون هنا جزءا من ملفات الثانوي والقريب من نقطة التعادل غير محمي نتيجة قربه من الجهد الصفري وتعتبر الوقاية التفاضلية من أخطر الأنواع لأنها تعني أن الملفات بها خطأ ومن ثم يجب الفصل بسرعة والتعامل مع المحول بأسلوب الصيانة والاختبار ولا يجوز إعادة التوصيل إلا بعد نتائج مرضية من الاختبارات النمطية والتي تؤكد علي سلامة المحول أو المولد كما كان في البند السابق . الفصل بالوقاية التفاضلية للملفات هو أعلي درجات الخطورة كما تضاف الوقاية الغازية بالنسبة للمحولات كما سوف يبين فيما بعد ، والوقاية التفاضلية هنا تشمل

الملفات ذاتها بجانب الوصلات من أطراف الملفات وحتى أطراف محولات التيار وإذا ما كان المحول ثلاثي الملفات أي له ثلاث جهات فيكون المتمم التفاضلي موصلا بين الثلاث جهات معا دون استثناء وهذا لا يحدث مع المولدات .

٣- وقاية ملفات المولد والمحول معا Unit Winding

في كثير من الحالات نجد أن وحدة التوليد متكاملة أي أنها تتكون من مولد ومحول موصلان معا مباشرة دون أي قضبان بينهما ولا يمكننا تشغيل أي منهما بدون الآخر ولذلك نتعامل مع هذه الوحدة المتكاملة كأنها شيء واحد ونستخدم الوقاية التفاضلية علي النحو الوارد في الشكل رقم ٥-٢٧ حيث يوصل المولد إلي الأرض الصفري من خلال مقاومة وتستخدم الطريقة الخاصة بالمحولات هنا أيضا وتكون الوقاية شاملة ملفات المحول والمولد معا والموصلات بينهما والموصلات إلي أطراف محولات التيار من الجهتين ، وقد ظهر بالرسم محول مساعد لينقل التيار بالقدر المطلوب وطبقا للضبط المحدد مع نسبة التحويل للجهتين .



الشكل رقم ٥- ٢٧ : دائرة وقاية تفاضلية لملفات وحدة مولد بمحول

كل ملف متمم يمرر تيار الوجه الذي هو فيه فقط ولكل من هذه الملفات ملمس خاص به فإذا ما مر تيار القصر يمر التيار في المتمم فيتم توصيل الملمس الخاص به وهو بذلك ينقل الجهد الموجب من الجهة الموصلة علي قضبان التيار المستمر إلي الجهة الأخرى حيث ملف الفصل الخاص بفصل القاطع في الدائرة الرئيسية ، وعلي نفس المنوال هناك جزءا من ملفات المولد غير محمي وآخر أيضا في ملفات المحول الثانوية والقريب من نقطة التعادل وهما ما يجب العناية بهما حتى وإن كان المحول موصلا إلي الأرض مباشرة (بدون مقاومة) وإن كان الجزء غير المحمي يقل كثيرا في هذه الحالة ولكن لا تخاذل من هذا الجانب ويلزم التأكيد علي سلامة المحولات مهما كانت النسبة غير المحمية غير صغيرة .

ثالثا : حماية القضبان Bus Bar *Protection*

تحتل وقاية القضبان المكانة الهامة وسط بقية أنواع الحماية الأخرى لما يقع عليها من مسئوليات أساسية في تشغيل الشبكات بكفاءة مرضية وهناك عدد من الأسباب لهذه الأهمية منها :

١- مستوى القصر short circuit level علي القضبان أعلي بكثير من المواقع القريبة منه أو المجاورة .

٢- يلزم التحكم زمنيا في أي خطأ علي القضبان قبل إعادة الطاقة بسرعة وعادة تكون آليا في حدود ١٢٠ ملي ثانية تقليلا لمقدار الخسائر نتيجة الزيادة الهائلة في الطاقة والتي تظهر علي شكل حراري .

٣- يتأثر اتزان الشبكة بشكل مباشر لأي خطأ في منطقة القضبان وليست القضبان فقط

٤- يتسبب القصر علي القضبان أو منطقته في خروج كل الموصلات التي تتصل به وبالتالي يقطع التيار عن العديد من المناطق والمغذيات التابعة له.

ومن خصائص الوقاية من هذا النوع ما يلي :

١- الفصل المنفرد لكل قاطع CB علي حدة

٢- سرعة الفصل بمدة تقترب من ٠,٠٦ ث

٣- عدم التشغيل الوقائي مع حدود التشبع في محولات التيار أو تأرجح swing القدرة في المولدات

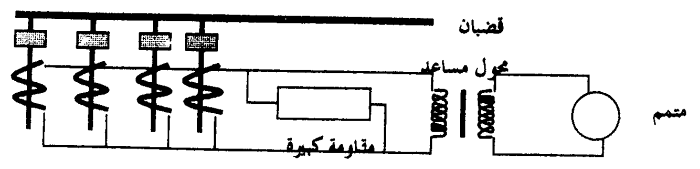
٤- التمييز بين القضبان وغيرها من المناطق المتجاورة

توضع القضبان بذلك علي نطاقين هما وقاية منطقة القضبان bus zone أو وقاية القضبان فقط وذلك بهدف وقاية القضبان بحيث تكون مستقرة ضد الأخطاء الخارجية external عن القضبان وبسرعة فصل فائقة للخطأ داخل القضبان internal ، وتتعدد أسباب القصر في منطقة القضبان بين الاتصال مع الأرض أو التوصيل بين وجهين متجاورين أو بالشرارة الناتجة علي العوازل أثناء عمليات الفصل والتوصيل أو لتواجد الأتربة عليها وأحيانا للظواهر الخارجية مثل الهزات الأرضية أو الأعمال الميكانيكية أو أعمال الصيانة وهذا يعبر عن أهمية هذا الجزء وما يتبع ذلك في نقاط هي :

١- وضع كل القواطع المتصلة بالقضبان داخل منطقة الوقاية لحمايتها من الأخطاء .

٢- اختيار محولات التيار المناسبة للعمل مع وقاية القضبان .

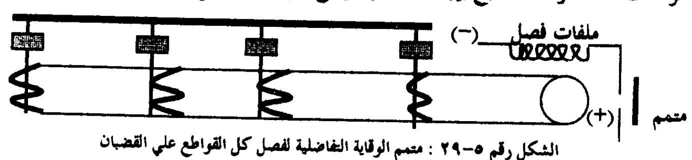
٣- الاعتماد علي وقاية زيادة التيار (عادية أو بمعوقة كبيرة high impedance over current كما في الشكل رقم ٥-٢٨) أو التسرب الأرضي أو وقاية المسافة لأداء الفصل بسرعة بطيئة كوقاية ثانية Back up protection بعد وقاية القضبان ذاتها .



الشكل رقم ٥–٢٨ : متمم زيادة تيار بمعوقة كبيرة علي القضبان

٤– استخدام وقاية زيادة التيار الفرملة interlock over current من أجل فصل المولدات أثناء الخطأ علي القضبان والتي تصمم تبعا لتكلفة دورة الحياة life cycle .

هكذا كانت الوقاية الناجحة للقضبان والتي تؤكد علي وجود خطأ مباشر علي القضبان إذا ما فصل متمم الوقاية التفاضلية لهذه القضبان أو أي من أجزائها (الشكل رقم ٥– ٢٩) ولذلك توضع القضبان محل العناية والتركيز علي قدم وساق مع الملفات لأنه بدونها لا نستطيع التعامل مع المناورات والتي تشمل التوصيل والفصل والنقل والتحويل علي طول الشبكة الموحدة وهو يخص موضوع الوقاية للشبكة ككل . نود التأكيد علي الرسم الخطي في الشكل رقم ٥–٢٨ أنه يتكرر لكل وجه وبذلك يكون لدينا ثلاث متممات وأي منهم يعطي الأمر بالفصل المباشر وتدخل القواطع داخل نطاق الدائرة التفاضلية وذلك بوضع محولات تيار كما نراها بينما لو نقلت هذه المحولات لتصبح بين القضبان والقواطع لخرجت القواطع من نطاق الحماية التفاضلية هذه .



الشكل رقم ٥–٢٩ : متمم الوقاية التفاضلية لفصل كل القواطع علي القضبان

تواجه عددا من المشكلات في الوقاية التفاضلية علي القضبان سواء كانت تخص وقاية منطقة القضبان أو القضبان وحدها وخصوصا إذا كانت هذه القضبان ذات اتصال مباشر مع مولدات نوجز منها فيما يلي:

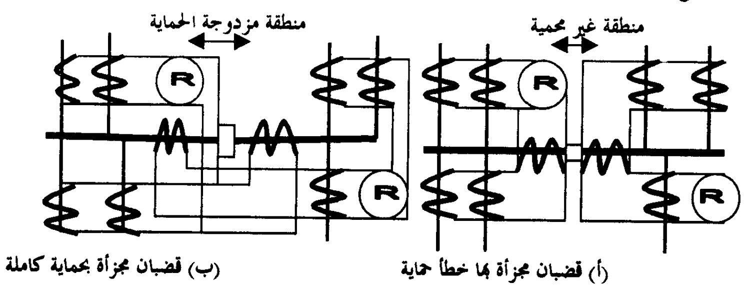
١– تباين مستوي القصر علي الدوائر المختلفة والمتصلة علي القضبان .

٢– ظاهرة التشبع في محولات التيار نتيجة ظهور المركبة المستمرة في تيارات القصر .

٣– تواجد القضبان المجزأة sectionalized في الشبكة . وهو ما نستطيع فهمه من خلال الرسمين الواردين في الشكل رقم ٥– ٣٠ حيث نجد منطقة غير محمية ولا تحس بوجود قصر مباشر فيها علي القضبان في الشكل (أ) بينما تلافينا هذا في الشكل (ب) .

٤– الحاجة المستمرة لضبط المتممات مع التغير الشديد في الأحمال .

نتبع هنا التوصيل علي كل المخارج التي تتصل مع القضبان سواء كانت فردية أو مزدوجة أو ثلاثية الطراز ولهذا تكون دائرة الوقاية الخاصة بالقضبان عبارة عن دائرة تفاضلية عليها محولات تيار بعدد المخارج علي القضبان ويتم توصيل كل وجه معا لكل المحولات ويوضع المتمم ليحس بالمحصلة لهذه التيارات معا وهنا يتم فصل جميع القواطع لكل الدوائر الكهربية المتصلة علي القضبان وبلا استثناء إلا إذا تأخر عدد من الدوائر بعيدة عن المقطع المعيب من القضبان .



(ب) قضبان مجزأة بحماية كاملة (أ) قضبان مجزأة بها خطأ حماية

الشكل رقم ٥-٣٠ : الوقاية التفاضلية للقضبان المجزأة

بذلك نجد الجدول رقم ٥- ١٠ قد أوضح الطرق المختلفة المتبعة لوقاية منطقة القضبان بشكل عام الملاحظات لكل منهم وهم خمسة طرق وخصائص كل منهم .

الجدول رقم ٥-١٠ : خصائص طرق الوقاية لمنطقة القضبان

الطريقة	الخصائص	الملاحظات
زيادة التيار	الفصل الفوري أو المحدد	تصلح لشبكات التوزيع بمغذيات وزمن فصل حتى ٤٠٠ ملي ث
الوقاية التفاضلية	التيار الدائر بالمتمم ذو المقاومة العالية . الاعتماد علي فرق الجهد لتشغيل المتمم. الضبط المباشر	تصلح في المحطات الكبيرة محسنة الخواص التمييز بفرق الجهد تأخير فصل القصر البعيد
التسرب الأرضي	باستخدام محولات تيار مع الجسم المعدني	وقاية ضد الاتصال مع الأرض
الوقاية الاستاتيكية	تجنب مشاكل محولات التيار	الأفضل
الوقاية الاحتياطية Back Up	زيادة التيار - وقاية المسافة	امتداد وقاية المغذيات لحماية القضبان

تظهر العوامل التي توضع في الاعتبار لاختيار محولات التيار وهي

١- الاستعانة بمحولات تيار متماثلة وخصوصا عند التشبع وبنفس نسبة التحويل

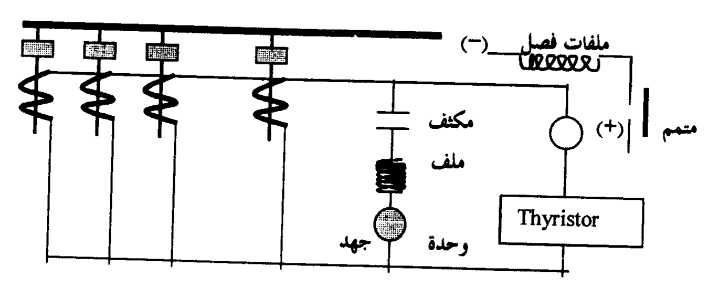
٢- زيادة نسبة تحويل محولات التيار لتقليل نسبة تواجد التيار الاندفاعي إلي المقنن .

٣- تقليل البردن بالتعامل مع المتممات الاستاتيكية وتقصير الوصلات

٤- لا بد وأن تكون حدود التيار كبيرة .

٥- استخدام القلب ذو الثغرات لمحولات التيار

٦- نتغلب علي ظاهرة التشبع في محولات التيار برفع قيمة المقاومة علي الدائرة الثانوية لمحول التيار كما لو كانت الدائرة مفتوحة وهذا ينجح مع نوع محولات التيار بعازل الاختراق bushing CT ويعرض الشكل رقم ٥- ٣١ الدائرة الخاصة بهذا وفيها يضاف فرع به مكثف وملف برنين طبيعي من أجل القضاء علي الموجات التوافقية وبمقاومة لهذا الفرع قد تصل إلي ٣ ك. أوم بينما يتم توصيل ثيرثتور علي التوالي مع المتمم لتحديد قيمة الجهد كما يقوم بعمل قصر علي كل محولات التيار بعد أداء الفصل أما المتمم فهو من نوع زيادة التيار وبفصل فوري في حدود ٠,٦ – ١٢،٠ ث .



الشكل رقم ٥-٣١ : متمم الوقاية التفاضلية بقيمة الجهد الثانوي

٧- استخدام محولات مساعدة متماثلة تماما

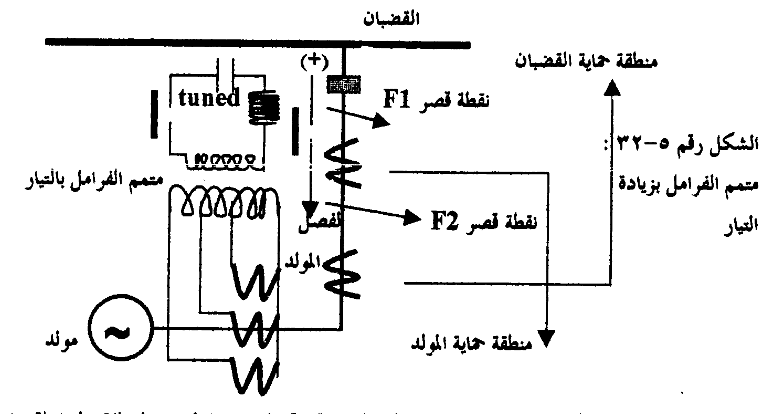
٨- أساس المفاضلة بين نوعي الخطأ داخل أو خارج منطقة الحماية لا بد وأن يعتمد علي الجهد وليس التيار فيكون هائلا مع الأخطاء الداخلية مقتربا من قيمة جهد اللاحمل بينما تتضاءل القيمة مع الأخطاء الخارجية حيث يصل هبوط الجهد إلي أقصى حد علي الموصلات والملامسات .

٩- ضبط المتمم بحساب أسوأ ظروف تشغيل محتملة مع معامل أمان بقيمة ٢

بعض التصميمات تلجأ إلي تأخير فصل الوقاية للقضبان حرصا علي سلامة التشغيل باتزان الشبكة وذلك بالاستعانة بمتمم تحذير alarm relay كما يفضل البعض وضع حالة تشغيل المتمم بفصل الملامسات تقليلا للطاقة المستهلكة الهائلة وقت الفصل وهناك من يضيف ملمسا آخر علي التوالي لتأكيد وجود الخطأ وحتمية الفصل وهو ما يحتاج إلي فصل المولدات بتأخير زمني في حدود ٥ ث لتخفيف العبء علي الشبكة حتى لا تخرج كل المحطات علي التتابع عن العمل

١٠- ضرورة توصيل متمم تحذير في الدائرة الثانوية إذا ما فصلت أحد الأطراف فيها حرصا علي سلامة التشغيل ولخطورة هذا الوضع علي دوائر الوقاية ذاتها .

أحيانا يتم اللجوء إلي متمم الفرامل بزيادة التيار Interlock Over Current Relay وهو يستخدم لمنطقتي حماية المولدات والقضبان (الشكل رقم ٥-٣٢) حيث نرى منطقة الحماية الخاصة بمنطقة القضبان متجهة إلي أعلى بينما تلك لمنطقة المولدات تتجه نحو المولدات وهناك منطقة ازدواج للوقاية بين المنطقتين حيث يعمل كلا النوعين من الوقاية معا ولكن بفارق زمني ضئيل ، بينما F1 يقع داخل حماية منطقة القضبان F2 فقط فيتم فصل القضبان ولكن مازال المولد خاضعا للعمل علي خطأ ولذلك يعمل هذا النوع من المتممات للتأكيد علي ضرورة الفصل من عدمه .ولهذا نجد أن ذلك المتمم يحتاج إلي التمييز بين نوعي الخطأ لفصل المولد بزمن تأخير يقترب من ٠,١ — ٠,٥ ث ولا يجوز إعادة التوصيل التلقائي لهذا النوع من الوقاية عموما ، كما يجب التأكيد علي فصل جميع الأوجه في ذات اللحظة بقدر الإمكان

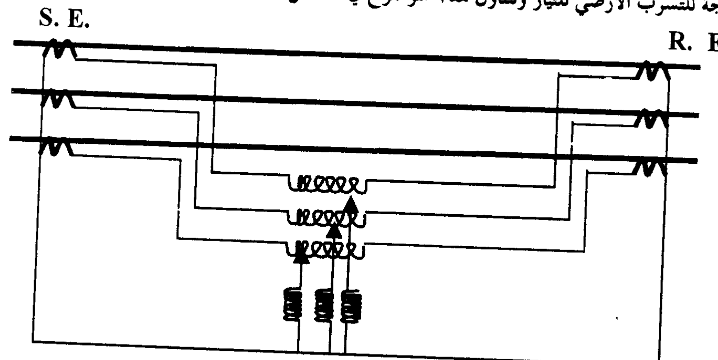


الشكل رقم ٥-٣٢: متمم الفرامل بزيادة التيار

هناك المزيد عن القضبان ولكن ليست كدائرة وقاية بل كمنظومة وقاية كاملة مع بقية الدوائر المختلفة والمتداخلة معا .

٥-٤ : وقاية المسافة Distance Protection

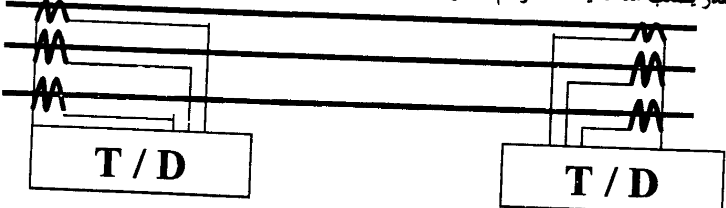
من السهل تطبيق الوقاية التفاضلية علي المغذيات القصيرة لأن أسلاك الدائرة الثانوية (دائرة الوقاية) ستكون قصيرة أيضا حيث نجد أن التيار عند البداية دائما يختلف عن مثيله عند النهاية خصوصا كلما ارتفع جهد الخط نتيجة للتسرب الأرضي للتيار ونتناول هذا الموضوع في تسلسل مبسط .



الشكل رقم ٥-٣٣ : دائرة وقاية تفاضلية لخط نقل قصير الطول

أولا : الوقاية التفاضلية Differential Protection

من السهل الاعتماد علي الوقاية التفاضلية للخطوط والكابلات والمغذيات حيث يظهر فرق بين التيارات في الجهتين ويتم ضبطه من المقاومة المتاحة في دائرة الوقاية (الشكل رقم ٥-٣٣) وقد كان الفارق كبيرا فساعد علي خفض حساسية المتممات من هذا النوع ، كما أن مقدار الفقد كان كبيرا وقد زادت أطوال الخطوط بقدر يصعب معه تنفيذ هذا الرسم خصوصا لانخفاض الحساسية لها حتى وإن كانت الخطوط قصيرة.



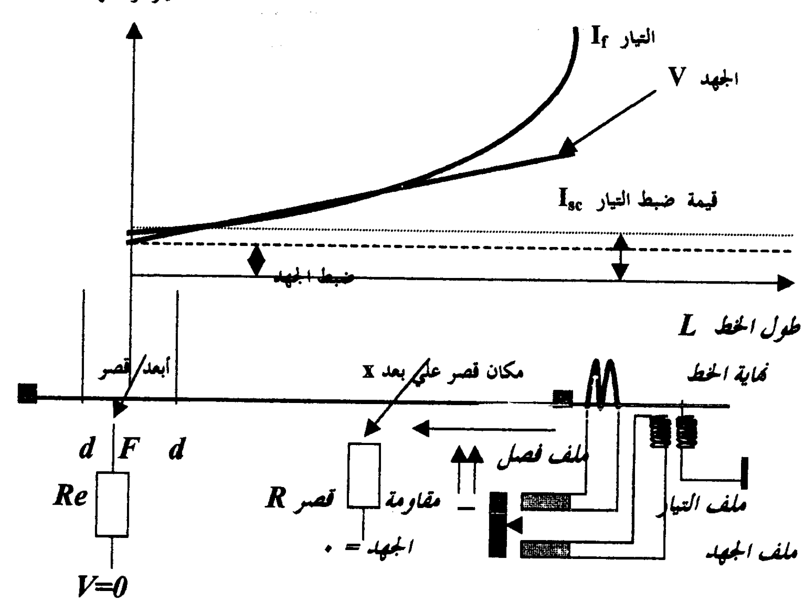
الشكل رقم ٥-٣٤ : الوقاية التفاضلية لخطوط النقل الطويلة

ومن ثم كانت الحاجة إلي البديل وقد كان البديل من خلال وسائل الاتصالات بأسلوب المرسل والمستقبل ليحل الاتصال اللاسلكي بدلا من أسلاك دائرة الوقاية وهو ما نراه في الشكل رقم ٥-٣٤ حيث نري المرسل والمستقبل في كلا الطرفين من الخط ويقارن بينهما في كل جهة علي حدة لاتخاذ القرار بالفصل عند اللزوم .

وقد أدى هذا الطراز من المتممات عمله بنجاح وثم زاد الاهتمام بالخطوط عن ذي قبل واتجهت الأسس إلي قياس المقاومة للخط (الشكل رقم ٥-٣٥) فنجد محول الجهد يقيس الجهد ومحول التيار يقيس التيار والنسبة بينهما تعبر عن قيمة مقاومة الخط عند النهاية أو البداية حسب الأحوال وهو ما نتناوله في البند التالي .

ثانيا : الوقاية بقياس المعوقة Impedance Measurement

نرى في الشكل رقم ٥-٣٥ مبادئ حساب قيمة مقاومة الخط في حالة ما إذا كان هناك قصر علي الخط



الشكل رقم ٥-٣٥ : مبادئ قياس المعوقة عند حدوث قصر علي الخط

عند النظر إلي الخط الكهربي في الشكل رقم ٥-٣٥ نجد أن حدود الفصل للقصر تقع علي البعد المحدد بالنقطة F حيث لها جهدا لا يساوي الصفر وإنما يحدد بالقيمة V_f ويفصلها عن الجهد الصفري المقاومة Re وبالتالي يكون هناك تيارا محددا هو I_{sc} وتصبح المعوقة هي :

$$Z_f = V_f / I_{sc} \qquad (5\text{-}17)$$

ويتم ضبط المتمم علي أساس هذه القيمة ولكن هذه القيمة قد تتفاوت إلي حد ما لأن الجهد يعتمد علي قيمة التيار والمقاومة إلي نقطة الجهد الصفري وهي مقاومة القصر تبعا للمعادلة :

$$V_f = Re \;.\; I_{sc} \qquad (5\text{-}18)$$

وهنا تظهر إمكانية ثبات قيمة الجهد هذا بأن يكون حاصل الضرب للقيمتين ثابتا أي أن قلة قيمة المقاومة قد يعطي نفس الجهد إذا كانت أقل من تلك المحددة عند النقطة F أي هناك مسافة قدرها d بعد مكان حدود الفصل (الضبط) حيث تقل قيمة المقاومة بشدة وتدخل داخل نطاق الفصل بالرغم من أنها في الخارج كما نجد من الناحية الأخرى ولمسافة أخري قد تقل أو تزيد حسب الأحوال قد تقل المقاومة ويقل التيار بحيث تصبح عند مسافة x نفس الظروف القصوى

$$Vx = V_f + Z(line\ part\ L\text{-}x) \;.\; I_{sc} \qquad (5\text{-}19)$$

نصل بذلك إلي أن تيار القصر يعتمد علي قيمة الجهد المقاس وقيمة المقاومة للخط حتى نقطة الخطأ ، كما نلاحظ أنه كلما كان الخطأ أقرب إلي نقطة القياس كلما زاد تيار القصر بشكل أسي ولهذا يكون الفصل هنا بالمتممات الزمنية هاما ويكون تحديد أبعد نقطة لضبط الخطأ عند نقطة مثل F وليس عند حدود القضبان كي لا تتداخل الوقاية معا وفي نفس الوقت يكون الفصل للمنطقة التالية بزمن تأخير محدد ويدخل فيها عندئذ القضبان وبل يتعداها إلي ما بعد القضبان .

نؤكد علي أن الخلل في قراءة الجهد كي تصبح قيمة مساوية للصفر بدلا من القيمة المقننة للجهد علي طول الخط مع ارتفاع قيمة التيار الداخل إلي ملفات محول التيار في بداية الخط يؤدي إلي قياس المعوقة تبعا لما نراه في الشكل العام للخصائص الخاصة بالجهد والتيار أثناء القصر كما في الشكل رقم ٥-٣٥ علي النحو :

$$Z_{sc} = V_{sc} / I_{sc} = V_f\ (x + 1) / I_{sc}\ e^{a(L-x)} \qquad (5\text{-}20)$$

ومن ذلك تكون المعوقة في أبسط صورة مثل

$$Z_{sc} = V_f\ (x + 1)\ e^{-a(L-x)}\ / I_{sc}\ (min) \qquad (5\text{-}21)$$

كما نجد أن تيار القصر الأدنى قد يتحقق في أية نقطة علي طول الخط تبعا للشرط

$$I_{sc}\,(min) = V/Z(L-x) = constant \qquad (5\text{-}22)$$

خصائص التشغيل R-X Diagram

ويعمل بذلك المتمم إذا قلت النسبة بين الجهد والتيار مشيرة إلي صغر المعوقة وعلي هذا المبدأ ظهر النوع الأول للوقاية ضد القصر وهو متمم المعوقة Impedance Relay حيث يعطي الشكل رقم ٥-٣٦ العلاقة البيانية للمعوقة علي مستوي الممانعة / المقاومة والتي تتبع المعادلة

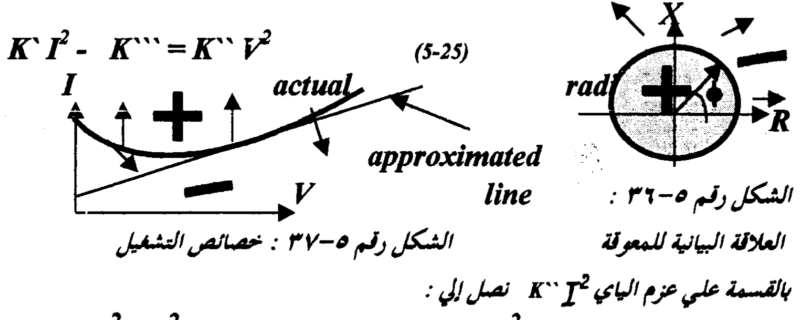
$$R^2 + X^2 = Z^2 \qquad (5\text{-}23)$$

، وفي هذا النوع يعطي المتمم عزما يتناسب مع مربع التيار I^2 جهة ملف التيار بثابت تناسب `K (الشكل رقم ٥-٣٥) وبالمثل من الجهة الأخرى العزم T يتناسب مع مربع الجهد V^2 بثابت تناسب ``K بينما ثابت الياي الخاص بالقرص المتحرك هو ```K ومن ثم نحصل علي معادلة العزم في الصورة :

$$T = K^{`} I^2 - K^{``} V^2 - K^{```} \qquad (5\text{-}24)$$

ويظهر الاتزان عندما يتساوى العزم بالصفر أي لا يظهر أي عزم فتكون الحالة مستقرة وعندئذ نحصل من معادلة العزم السابقة علي

$$K^{`} I^2 - K^{```} = K^{``} V^2 \qquad (5\text{-}25)$$



الشكل رقم ٥-٣٧ : خصائص التشغيل

الشكل رقم ٥-٣٦ : العلاقة البيانية للمعوقة

بالقسمة علي عزم الياي $K^{``} I^2$ *نصل إلي :*

$$V^2 / I^2 = K^{`} / K^{``} - K^{```} / K^{``} I^2 \qquad (5\text{-}26)$$

يمكن تبسيط هذه المعادلة للحصول علي قيمة المعوقة في الصيغة :

$$Z = V/I = \sqrt{(K'/K'') - (K'''/K''\, I^2)} \qquad (5\text{-}27)$$

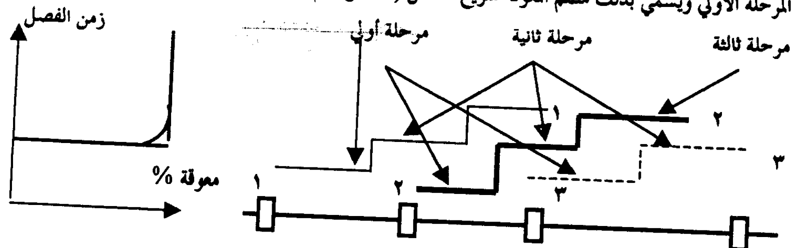
إذا ما كان عزم الياي مساويا الصفر فتصبح المعوقة قيمة ثابتة

$$\text{If } K''' = 0 \text{ therefore , } Z = \sqrt{K'/K''} = \text{constant} \qquad (5\text{-}28)$$

تعني الخصائص المبينة في الشكل رقم ٥-٣٦ أن العزم يبدأ التأثير عندما تقع قيمة المعوقة داخل الدائرة بينما خارجها تكون المعوقة كبيرة ولا يعمل المتمم ولكن يعيب هذا أن دائرة التشغيل هذه تعمل مع القيمة السالبة وهو ما يمثل عيبا في هذه الخصائص بجانب أنها تتأثر بقيمة المقاومة فتصل إلي حالة **under reach** كما سبق التوضيح ، ومن ثم يلزم إضافة متمم لتوجيه هذه المقاومة لتكون في اتجاه الخط فقط وليس علي جانبي الشبكة كما نرى في الشكل رقم ٥-٣٨ .

الشكل رقم ٥-٣٨ : خصائص متمم المعوقة بالاتجاه

من الهام هنا التأكيد علي سرعة الفصل وتقسيم الخطوط المتتالية إلي مناطق متتابعة الفصل وبزمن فصل سريع في المرحلة الأولي ويسمي بذلك متمم المعوقة سريع الفصل (الشكل رقم ٥-٣٩) .



الشكل رقم ٥-٣٩ : مواصفات الفصل لمتمم المعوقة عالي السرعة

ثالثا : الوقاية بخصائص قيمة مقلوب المعوقة Admittance Relay

يسمى هذا النوع أيضا بعدة أسماء مثل متمم المعوقة بالزاوية (Angle Impedance Relay) أو متمم الموه (Mho Relay) ويختلف هذا عن سابقه في عدد من المزايا أهمها نقل محور دائرة المعوقة بحيث يمر المحيط بالصفر المحوري (الشكل رقم ٥-٤٠) فالحركة تتم بعزم قدره

$$T = K\,V\,I\cos(\phi - \alpha) - K''\,V^2 - K''' \qquad (5\text{-}29)$$

كما سبق بالمثل عند الاتزان ($T = 0$) نحصل علي

$$K''\,V^2 = K\,V\,I\cos(\phi - \alpha) - K''' \qquad (5\text{-}30)$$

Dividing by $K''\,V\,I$ we get :

$$Z = (K/K'')\cos(\phi - \alpha) - K'''/[K''\,V\,I] \qquad (5\text{-}31)$$

$$\text{If } K''' = 0,\; Z = (K/K'')\cos(\phi - \alpha) \qquad (5\text{-}32)$$

وهذه معادلة دائرة نصف قطرها هو (K/K'') ونراها في الشكل رقم ٥-٤٠

الشكل رقم ٥-٤٠ : صفات متمم الموه

نجد أن الصفات الخاصة بعدم تواجد تجاه للفصل قد تضاءلت تماما وأصبح استخدام متمم الاتجاه أفضل وتتم عملية التشغيل للنقاط داخل الدائرة فقط .

رابعا : الوقاية بقياس ممانعة الخط Reactance Relay

تتبع الوقاية بقياس الممانعة بدلا من المعوقة (الشكل رقم ٥-٤١) أسلوبا متباينا مع السابق حيث تكون معادلة العزم هنا المعادلة

$$T = K'\,I^2 - K\,V\,I\cos(\phi - \alpha) - K''' \qquad (5\text{-}33)$$

نحصل علي $T = 0$ عند الاتزان أي

$$K' = K\,(V/I)\cos(\phi - \alpha) + K'''/I^2 \qquad (5\text{-}34)$$

$$\text{If } K''' = 0,$$

$$K' = K\,Z\cos(\phi - \alpha) \qquad (5\text{-}35)$$

نحصل علي بينما عند الزاوية $\alpha = 90$

$$K' = K\,(V/I)\sin(\phi) \;\text{ or }\; X = K'/K \qquad (5\text{-}36)$$

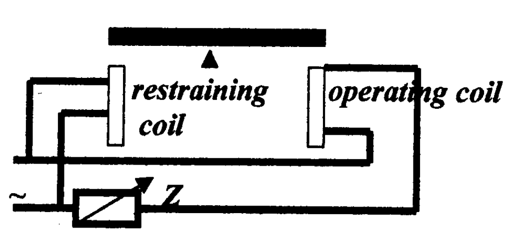
الشكل رقم (٥-٤١): متمم ممانعة

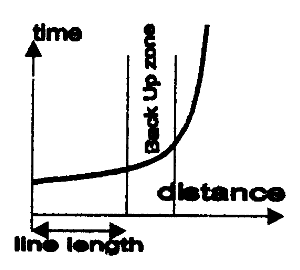
negative torque

كما يستخدم بشكل جوهري تقسيما لفصل المتممات هذه علي النحو التالي

١- متممات محددة الفصل *Definite distance relay*

يستخدم مع كل الأنواع السابقة *(impedance–Mho–Reactance type)* ونري خصائصه في الشكل رقم ٥-٤٢

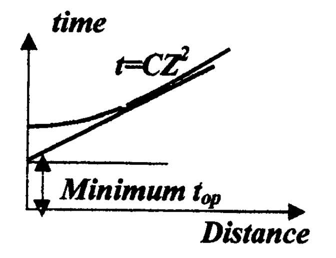




(أ) خصائص الفصل الزمني (ب) أسلوب التفاضل بين عزمي الجهد والتيار

الشكل رقم ٥-٤٢ : خصائص المتمم المحدد

٢- متمم المسافة الزمني *Distance Time Relay*



تعتمد خصائص هذا الأداء علي العلاقة بين الزمن والمسافة المحددة في الشكل رقم ٥-٤٣ ويستخدم عادة مع متمم المعوقة ***(Impedance)*** *حيث يتحدد زمن فصل أدني لا يمكن أن نسرع عنه وبعد ذلك يزيد زمن الفصل وهو ما يعني العلاقة بين معوقة طول الخط حتي مكان القصر*

الشكل رقم ٥-٤٣ : خصائص فصل المتمم

بهذا الشرح البسيط نكون قد وضعنا أيدينا علي جوهر أسس الوقاية للخطوط الكهربية سواء كانت الخطوط الهوائية أو الكابلات الأرضية والمغذيات ، أما عن التكامل بين هذه الوقاية وتلك الخاصة بالوقاية الاحتياطية لها أو استخدام وقاية المسافة كوقاية احتياطية فتعتبر من المراحل المتقدمة للمتخصص وعليه سنحاول في الفصول القادمة وضع مزيدا من الضوء عليها .

Problems ٥-٥ : تمارين

1- A 50 MVA, 35 kV alternator is being protected by the use of current balance system using 2000 / 5 A CTs. The neutral of the alternator is earthed through a resistance of 7.5 Ω. If the minimum operating current for the relay is 0.5 A determined, find the percentage of the winding of each phase is out of protection against earth when operating at normal voltage.

2- A 6.6 kV, 3 ϕ alternator has a maximum continuous rating of 2 MW at 0,8 p. f. and its reactance is 12.5 %. It is equipped with Merz Price circulating current protection which is set to operate at fault currents not less than 200 A. Find what value of the neutral earthing resistance neglects only 10 % of the winding out of protection.

3- A star 3 ϕ, 20 MVA 11 kV stator winding of alternator is protected by balance current method with current transformers of 1200 / 5 A and minimum operating current of 0.75 A and neutral resistance of 6 Ω. Calculate the percentage of protected winding when it is working at nominal voltage. Find also , the protected portion of the winding in the following cases :

(a) R =3, 12 Ω and for current 0.75 A - Comment on results.

(b) for relay operating currents of 0.5, 1.0 at R = 6 Ω – give comments on the results .

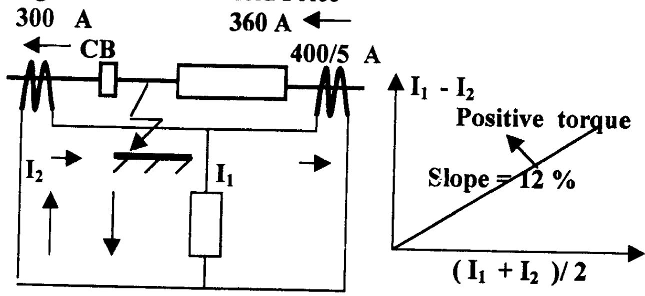
4- A percentage differential protection is applied to the stator windings of an alternator as given in the figure. The relay has a 0,15 A minimum pick up and a 12 % slope. A high resistance ground fault (as indicated in the figure) is occurred near the neutral point while the generator is loaded as shown on the figure. Assuming that the ratio of used CTs is 400 / 5 A without any inaccuracies under the faulty condition, Find the condition of operation for the protective device in such case.

5- The winding of a 3 ϕ 20 MVA 11 kV star generator is protected on the basis of balance system in the secondary circuit with a CT of 1200 / 5 A ratio. The relay minimum operating current is 0.75 A as well as the earthing resistance is 6 Ω. Calculate the percentage of each phase of the stator winding which remains without protection for the faults to earth when the operation is steady state under the normal voltage.

6- A 3 ϕ 20 MVA 11 kV star connected alternator has a synchronous reactance of 2.5 Ω/phase and a resistance of 0.75 Ω / phase. It is protected

through differential type balance, so, find the unprotected portion of the winding if the neutral point is earthed through a resistance of 0.5 Ω. Assuming that the relay operates when the out of balance current exceeds 25 % of the full load current.

7- Draw a complete scheme for the protection of generator stator winding on the basis of Merz Price



8- An alternator stator winding is protected by a differential relay which has 0.15 A as a minimum pick up value with a slope of 15 % (this slope for a vertical axis of current difference and a horizontal axis of their some). A high resistance fault to ground is occurred inside the turns of the winding to earth. The distribution of the currents in the power circuit is given as 340 A at the phase side but its value is changed to 360 at the other side of the winding and the current transformers have the transformation ratio of 500 / 5 A. Will the relay trip the generator circuit breaker on the phase side under this condition.

9- An 11 kV alternator has the balance circulating current for the protection of its windings where the neutral point of stator windings is earthed through a 5 Ω resistance and the setting of operation for relay has been adjusted at 1.5 A in the pilot wire in the secondary circuit. The current transformers of 100 / 5 A ratio were installed. Evaluate the percentage of the protected winding portion and compare the results to the 90 % protected part of the winding – Comment on your results.

10- A 50 MVA 3 ϕ 33 kV alternator is protected on the basis of Merz Price with 2000/5 A CTs. The neutral resistance was 10 Ω with a relay minimum operating current of 0.5 A. Determine the ratio of stator winding which must be safe against earth fault conditions at a normal voltage operation.

11- An over current protection should be installed at point 1 of the network shown with heavy currents through earth. Show which connection is more sensitive for short circuit to earth at point 2 for different values of load currents on the protected line. The short circuit currents are tabulated in the following Table. Coefficient of reliability is $K_r = 1.2$ and the reset value is 0.85.

A 4RT
B 5RT
6RT
(first)

A 4RT
B
5RT
C
6RT
(second)

1 2

Δ

Table : Sequence currents for various loads when fault is occurred

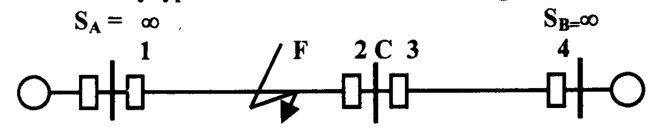
Case	Faulty Point	Load variant (a) Amp.	Load variant (b) Amp.	Load variant (c) Ampere
Line load	-	420	160	420 A
Single phase Short circuit	At point (1) At point (2)	[illegible] k A 1.7 k A	3.8 k A 1.2 k A	0.8 k A 0.63 k A
Double phase to earth s. c.	At point (1)	$I_1 = 10$ k A $I_2 = 3$ kA $I_o = 7$ kA	$I_1 = 8.4$ k A $I_2 = 5.2$ kA $I_o = 3.2$ kA	$I_1 = 1.7$ k A $I_2 = 1$ kA $I_o = 0.7$ kA
Double phase to earth s. c.	At point (2)	$I_1 = 3.8$ kA $I_2 = 2.3$ kA $I_o = 1.5$ kA	$I_1 = 2.3$ kA $I_2 = 1$ kA $I_o = 1.3$ kA	$I_1 = 1.17$ kA $I_2 = 0.3$ kA $I_o = 0.85$ kA
Distribution of current (Io %)	At point (1) At source side	98	90	50
Distribution of current (Io %)	At point (2)At transformer side	15	70	87

12- A differential protection type relying has been selected for protection against line to line fault and it is connected at 90° according to the torque equation:

$$T = K\ V_r\ I_r \cos \phi_r$$

If a short circuit is occurred at a point F between phases A & B, check the validity of the above equation as a good tool for protection. Positive and negative sequence impedance of the line are the same at points 1, 2, 3 and 4 while the currents of the load can be neglected .

13- Check the possibility of installing the automatic relay A-3000 type for line protection, if the maximum operating current I_{max} = 200 A. The minimum current at short circuit in boundary of the protected line is 1.1 kA and the line should be opened in time less than 0.1 s. The characteristics of the used relay type A-3000 is illustrated in the given drawing .



14- Design a complete scheme for the protection of a 3 ϕ generator unit.

15- A power station having installed capacity of 100 MVA with the following data:

4 alternators, 33 kV, 20 MVA each,
3 generators, 11 kV, 20 MVA each,
3 generators, 11 kV, 10 MVA each.

Design the suitable single line diagram and then, draw the complete 3 wire diagram for the protective scheme. Indicate the protective relaying in blocks for simplicity. in the secondary circuit.

16- A 3 ϕ solidly earthed 4 wire alternator is operating at no load under the nominal voltage of 11 kV. Its positive, negative and zero sequence impedance are j3, j2 & j1 Ω, respectively. Calculate the currents in all wires and voltage of unfaulted phase to neutral when a double line to earth is occurred at the alternator terminals.

17- A balanced 3 ϕ solidly earthed supply is connected to a 3 ϕ, 4 wire line. Find the currents in each phase, if the line is short circuited to another line at the receiving end (line to line type fault) when the third phase is earthed at the same terminal.

منظومة الوقاية

PROTECTIVE SYSTEM

تتشكل منظومة الوقاية من أكثر من دائرة وقاية تعمل معا في مجموعة واحدة لغرض أكبر من هدف الدائرة المنفصلة ولما كانت دائرة الوقاية من حيث النوع والهدف والتركيب والخصائص قد تم شرحها في الفصل السابق فيكون علينا الآن التعرض إلي ماهية منظومة الوقاية وخصائصها وعلي وجه الخصوص المسمى النوعي لها وهذا ما سوف نتعامل معه في البنود الحالية من هذا الفصل .

٦-١ : منظومة حماية المولدات Generator Protection

تقع هذه المنظومة علي رأس قائمة كل أنواع الوقاية العاملة في الشبكة علي وجه العموم ولهذا يجب التعامل من منطلق حماية المولد من أية أخطار أو أخطاء قد يتعرض لها وهذه العيوب نوجز أهما ، ومن هذا التقسيم السريع لأنواع الأخطاء المحتملة توضع دائرة وقاية لكل منها ويتم تجميعها معا في منظومة واحدة تعرف بمنظومة وقاية المولد ولذلك نجد هذا التسلسل موجزا في السطور التالية.

أولا : الجزء الثابت stator faults & protection

تتمثل هذه الأخطاء في الخطأ داخل الملفات الخاصة بالعضو الثابت وهي تنحصر في ثلاث محاور هي:(خطا الطور مع الأرض وتنقسم إلي نوعين فإما أن يكون القصر بين الملف والقلب الحديدي iron core فيزيد من الحرارة في بقعة محددة وبالتالي نقاط اللحام أو الاتصال أو زيادة الحرارة over heating في الملف فتحطم العزل الخاص بها مع احتمال الخطورة بالوصول إلي تواجد حريق fire في العزل الخاص بالملفات أو في المنطقة عموما -أما المحور الثاني فهو خطأ الطور مع غيره ولذلك يوضع ثرمومتر في فتحات ملفات العضو الثابت – والأخير ينطوي علي خطا الطور مع نفسه وهو ما يمثل الخطأ في القصر بين الملفات المتتالية والمتجاورة داخل ذات الطور turn to turn fault) ،ونصل بذلك إلي تلك الدوائر اللازمة لحماية الملفات الثابتة وهي التي تتنوع إلي :

١ – الوقاية التفاضلية للملفات السابق شرحها في الفصل السابق ،وهو النوع الذي يتميز بعدد من المزايا هي

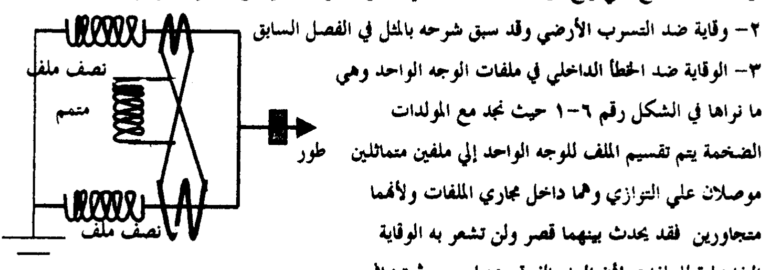
(أ) سرعة الفصل والتي تتراوح في حدود ١٥ ملي ثانية مع المتممات الساكنة

(ب) إمكانية الضبط المنخفض لقيمة التيار وذلك يساعد علي خفض مقننات الوقاية بالدقة المطلوبة

(ج) الاستقرار الكامل مع القصر الخارجي وهو ما يعني انعدام التأثير علي بقية المكونات في الشبكة أثناء الفصل أو بعده مما يشجع علي رفع درجة الاعتماد عليه في منظومة الوقاية لأي من الأجزاء الموجودة بالشبكة .

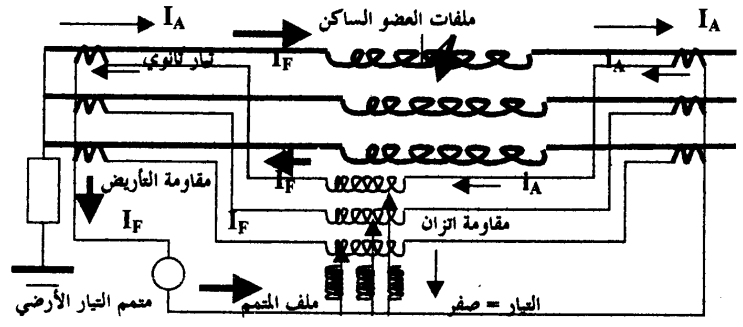
٢- وقاية ضد التسرب الأرضي وقد سبق شرحه بالمثل في الفصل السابق

٣- الوقاية ضد الخطأ الداخلي في ملفات الوجه الواحد وهي ما نراها في الشكل رقم ٦-١ حيث نجد مع المولدات الضخمة يتم تقسيم الملف للوجه الواحد إلي ملفين متماثلين موصلان علي التوازي وهما داخل مجاري الملفات ولأنهما متجاورين فقد يحدث بينهما قصر ولن تشعر به الوقاية التفاضلية للملفات لأن التيار الفرق ضئيل ومن ثم تضاف تلك الدائرة التفاضلية المبينة في الشكل فتتيح للمتمم الفرصة لفصل المولد إذا ما ظهر فرق بين تياري الوجه الواحد



الشكل رقم ٦-١ : وقاية الملفات من القصر بين اللفات turn to turn

وتضاف هذه الدائرة إلي السابقتين ويدخلون مع بقية الدوائر في منظومة واحدة .



الشكل رقم ٦-٢ : دائرة وقاية تفاضلية لملفات العضو الساكن بمتمم تيار أرضي

بالنسبة للملفات التي لا تقبل وضع محولات التيار أو تلك وحيدة الطور فيمكن الاعتماد علي مركبة التيار الصفري كبديل لنوع هذه الحماية مثل حالة إضافة دائرة وقاية تيار أرضي في دائرة الوقاية التفاضلية للملفات (الشكل رقم ٦-٢) وتصبح دائرتين في واحدة فتوفر دائرة كاملة تقريبا ، كما أن هناك إمكانية الوقاية عن طريق الجهد الصفري عن طريق محولات الجهد بالدلتا المفتوحة في الجهة الثانوية وقد سبق شرح هذا الموضوع في

الفصل الخاص بمحولات القياس ، أما بالنسبة لدائرة الوقاية التي سبق شرحها لملفات العضو الساكن فيمكن إضافة وقاية التيار الأرضي بإدخال مقاومة وملف متمم التيار الأرضي في دائرة الوقاية الخاصة بالوقاية التفاضلية (الشكل رقم ٦-٢) كما كان الحال مع دائرة الوقاية ضد زيادة التيار السابق شرحها في الفصل السابق.

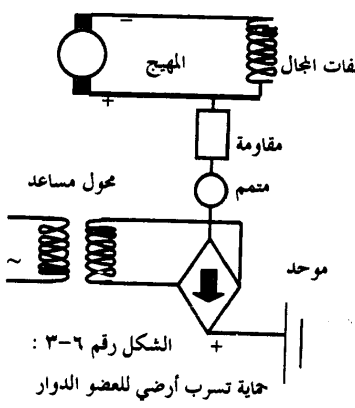
تتسم صفات هذه الدائرة المشتركة بثلاث مقننات هي :

١- يلزم اختيار ضبط التيار في متمم الأرضي بمنتهى الدقة ويكون للمتمم عموما في حدود ١٠ – ٥٠ % ويكون معدل ضبط اللقط pick up حوالي ٥ – ٥٠ % بينما زمن الفصل يقع بمقنن بين ٥ و ٢٠ ملي ثانية والاستقرار الاندفاعي inrush stability بنسبة ٥ أو ١٠ أو ١٥ ويمثل النسبة بين أقصى قيمة تيار قصر يمكن التوصيل عليه مباشرة إلي قيمة التيار المقنن .

٢- يجب وضع الضبط بحيث لا يفصل إلا إذا كان القصر داخل منطقة الملفات ولا يتأثر بالقصر خارج المنطقة علي الجهد العالي .

٣- تتم حماية ٨٠ % فقط من ملفات العضو الساكن للمولد كما تستهلك من القدرة حوالي ٠,٣ ف. أ.

ثانيا : الجزء الدوار rotor faults & protection



الشكل رقم ٦-٣ : حماية تسرب أرضي للعضو الدوار

تتكرر ذات العيوب الخاصة بملفات العضو الساكن بجانب تلك الأخطاء الديناميكية وما قد ينجم من تحطيم لجزء من العزل من الدوران الميكانيكي وهي التي قد تحدث ونضيف النوع الهام من الخطأ وهو ما يخص ملفات المجال وهو الجزء المهيمن علي ضبط إيقاع حركة العضو الدوار ويمثل هذا الخطأ ككل من أخطر الأنواع تدميرا من الناحية الديناميكية .

من هنا يحتاج العضو الدوار إلي الحماية ضد التسرب الأرضي أو الاتصال مع الأرض وهو ما قد سبق شرحه في الفصل السابق كما يمكن وضع دائرة وقاية علي ملفات المهيج كتلك الموضحة في الشكل رقم ٦-٣ . كما قد يحدث فقدان المجال نتيجة أي فصل تلقائي للقاطع الخاص بدائرة المجال فيوقفه عن العمل فينتقل التأثير مباشرة إلي العضو الدوار ، لا يتم توصيل ملفات دائرة المجال بالأرض حتى لا يمر تيار عند القصر مع الأرض أو كي لا يقفل الدائرة علي جزء بين موقع الخطأ

ونقطة الأرض كما يحتمل ظهور مجال غير متماثل في دائرة المجال علي الأوجه الثلاث (إما لانقطاع أحد أقطاب قاطع دائرة المجال أو لحدوث قصر علي جزء من الملفات) فيعطي توزيعا للقوى المؤثرة ميكانيكيا علي العضو الدوار فتزيد من الضغط علي الكراسي وعامود الإدارة .

يتعرض العضو الدوار إلي زيادة السرعة over speed عن تلك المزمنة وقد تنتج عن إخراج الأحمال عن المولد فجأة لأن عجلة سرعة الدوران acceleration تعتمد علي القصور الذاتي والذي يتبع الصيغة ωR^2 فعند فقد الحمل يجب أن يتعرف المتحكم governor الخاص بالمولد بالاستعانة بالمغناطيس الثابت علي هذه الزيادة في السرعة لأنه المتلامس مع عامود الإدارة shaft فتصل الحالة إلي المتحكم فيعطي الأمر من خلال ميكانيزم الكرة الطائرة fly ball mechanism إلي البادئ للحركة كي يقلل السرعة ، كما يمكن إضافة حماية لزيادة الذبذبة over frequency وعادة ما تستخدم نوعية متمم الزمن المحدد للفصل MDF .

جدير بأن نضع صفات فقدان المهيج وتأثيرها علي المولد من حيث استمرار الدوران وهو ما يمثل الخطورة التي تستوجب إيقاف المهيج وعدم ظهور مجال علي العضو الدوار حتى نتمكن من إيقاف تغذيته لتيار الخطأ

ثالثا : التشغيل غير العادي Abnormal operation

تأتي هذه النوعية من العيوب مع التشغيل غير السليم وهو ما يمكننا أن نصنفه في قطاعين

القطاع الأول : التشغيل غير المتزن Unbalanced Operation

تقع نوعية الأخطاء للتشغيل غير العادي في عدة نقاط هي (فقد التهيج excitation loss – التحميل الزائد – السرعة المرتفعة عن المتزامنة – عدم اتزان الأحمال unbalance وهو الأكثر شيوعا بين كل الأخطاء – ارتفاع الجهد الزائد – انهيار المحرك الابتدائي prime mover) وهو الوضع الذي قد ينجم من :

١– فصل خاطئ لأقطاب القاطع CB الخاص بالمولد أو آخر بالشبكة

٢– تحميل غير متماثل وخصوصا بالقرب من شبكات التوزيع

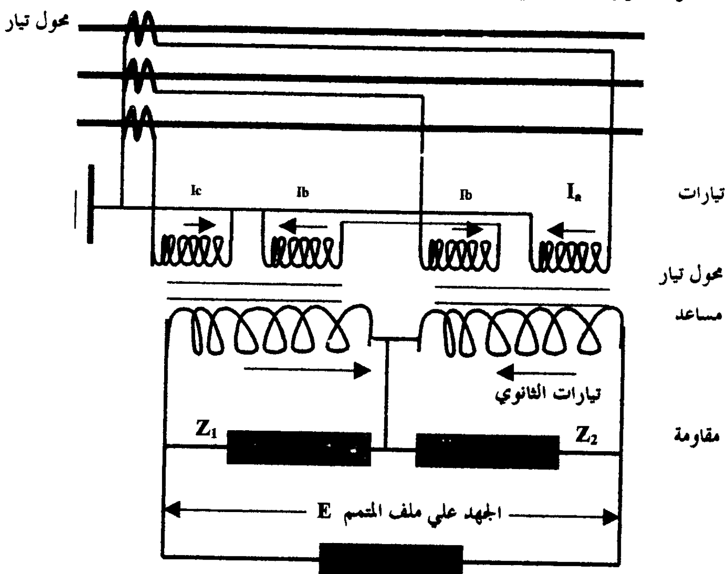
٣– قصر غير متماثل وقريب جدا من المولد بالشبكة فتصحبه السخونة المرتفعة والمتزايدة بشكل متفاقم .

وينتقل تأثيره في صورة حرارية تراكمية نتيجة مدة سريان هذا النوع من التيار I_- (أمبير) لمدة زمنية t بالثانية والتي تتبع الصيغة $(I_-)^2$ t = constant وتتراوح قيمة الثابت بين ٢٠ و ٣٠ كما يعتمد هذا النوع من الخطأ علي تواجد المركبة السالبة حال ظهور قصر أو تغير غير متزن بالشبكة وبالتالي تظهر العيوب التالية :

١– يتحول العيب إلي حرارة فتظهر التيارات بالذبذبة العالية (الثانية)

٢– تؤدي تيارات عدم الاتزان إلي سخونة العضو الدوار

٣- تتولد اهتزازات شديدة في العضو الساكن وسخونته وهو ما قد يصل به إلي الدمار



الشكل رقم ٦-٤ : دائرة الوقاية بالمركبة السالبة للتيار NPS

ولذلك يستخدم للوقاية من مثل هذه الحالات متمم من النوع الزمن المحدد الأدنى للفصل IDMT ويعتمد علي قياس المركبة السالبة وإعطاء أمر الفصل فور ظهورها بالقدر حسب الضبط وتقيس المركبة السالبة إذا وجدت (الشكل رقم ٦-٤) فتعطي الأمر بالفصل .

تظهر قيمة الذبذبة المقننة f لتشغيل الشبكة حدودا هندسية كمؤشر للتشغيل المعتاد وحدود التحول إلي الخطأ ومن ثم نجد أن العلاقة بين الفيض وكثافته B وبين بقية المعاملات المؤثرة علي الملف مثل عدد اللفات N ومساحة المقطع المار به A تتبع المعادلة المعروفة :

$$E = 4.44\ f\ A\ N\ B\ \times 10^{-8} \qquad (6\text{-}1)$$

ولهذا نستطيع الحصول علي قيمة كثافة الفيض بوضع ثابت التناسب K في الصورة

$$B = (E / f \times 10^{-8}) / 4.44\ A\ N = K\ (E/f) \qquad (6\text{-}2)$$

تتناسب قيمة كثافة الفيض المتزايدة مع التيارات المغناطيسية فتسبب ارتفاعا في الحرارة وقد تزيد قيمة مجال التهيج أثناء محاولة الحفاظ علي ثبات قيمة الجهد علي القضبان بواسطة المتحكم ولهذا السبب نحتاج إلي العلاقة العكسية في الفصل الزمني وفصل المولد قبل المحول (الشكل رقم ٦-٥) .

زمن الفصل
محول
مولد
E/f

الشكل رقم ٦-٥: صفات الفصل بالذبذبة E/f

وتعتبر الوقاية بالذبذبة frequency من أهم الأنواع خصوصا مع شبكات التوزيع كما تتأكد أهميتها مع المولدات الصناعية industrial generators أو الخاصة بمواقع منفصلة وهي غير القادرة علي الفصل السريع فنحتاج إلي متمم انخفاض الذبذبة under frequency relay مع متمم تأخير زمني علي أن يغطي فترة الإنتقاليات ويقل عن زمن إعادة توصيل الدائرة ، وهذا النوع يتعلق بخواص توصيل المولد سواء كانت أحد الأقطاب لم تتمكن من التوصيل أو خطأ مماثل لهذا في دائرة المجال أو أن التوصيل المتزامن فيه تجاوز كبير ولا يجب أن تقل الذبذبة عن ٤٩ هيرتز . ويقدم أيضا الجدول رقم ٦-١ النقاط الرئيسية للحالات غير العادية والتي قد يتعرض لها نظام التوليد في الشبكة عموما .

الجدول رقم ٦-١ : بعض أنواع التشغيل غير عادي للشبكة الكهربية

الحالة	التأثير	أسلوب الوقاية
تحميل حراري تحميل زائد ومستمر خلل في نظام التبريد	زيادة حرارية في ملفات العضو الثابت انهيار العزل الكهربي للملفات	وضع ثرمومتر في فتحات العضو الثابت والمبردات – إضافة وقاية زيادة حمل مع زيادة التيار
تغذية قصر خارجي	تحميل غير متماثل – ضغط ميكانيكي علي الملفات وعامود الإدارة – تأثير حراري	وقاية المركبة السالبة أو زيادة الحمل للمولدات الصغيرة
عيوب عضو ساكن (أوجه– أرض – لفات)	احتراق الملفات – نقاط اللحام في القلب الحديدي – فصل المولد	وقاية تفاضلية وتسرب أرضي ووقاية لفات
عيوب العضو الدوار مع الأرض	عدم تماثل القوى المغناطيسية الداخلية فتدمر عامود الإدارة والكراسي	وقاية التيار الأرضي
فقدان المجال	يتحول المولد المتزامن إلي نوع تأثيري ويأخذ تيارات المجال من الشبكة فتزيد السرعة	دائرة وقاية فقدان المجال
تحول المولد إلي محرك	تختلف التأثيرات تبعا للمتحكم	وقاية عكس اتجاه سريان القدرة
الجهد الزائد	انهيار العزل الكهربي	مفرغات الشحنة

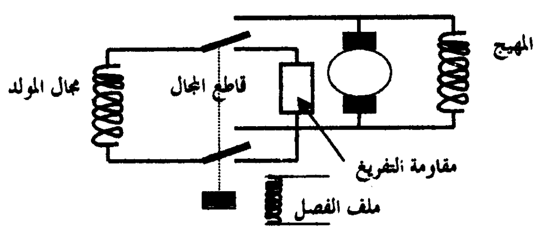
القطاع الثاني : التشغيل كمحرك Motoring Operation

تحول المولد إلي حالة العمل كمحرك ظاهرة طبيعية ويمكن حدوثها ولكن علينا منعها بقدر المستطاع ونجد في الجدول رقم ٦-٢ إحصائية بسيطة عن الحالات المحتملة لتحول التوليد إلي مستهلك عند تشغيل المولدات بدون حمل وذلك منسوبا إلي المقنن بالكيلو وات مما يضع أما أعيننا أهمية التعامل مع عكس القدرة أو بالمعنى الأصح الوقاية من عكس القدرة وبالتالي تكون الحاجة الماسة للاعتماد علي متممات الاتجاه وهي التي تتأسس علي ظهور الترتيب السالب للجهد أو التيار وبالتالي يعني أن سريان القدرة في الاتجاه الخاطئ .

جدول رقم ٦-٢ : النسبة المئوية للقدرة المعكوسة عند تشغيل المولدات في حالة اللا حمل

النوع	النسبة (%)
توربينات بخارية (بمكثف)	١ - ٣
توربينات بخارية (بدون مكثف)	٣
الديزل	٢٥
التوربينات الهيدروليكية	٠,٢ - ٢

من الناحية الأخرى تأتي الأهمية لعملية الالتزام بإخماد المجال المؤثر علي دوران المولد بناءا علي المبدأ المبين في الشكل رقم ٦-٦ .



الشكل رقم ٦-٦ : دائرة كهربية لإخماد المجال وتفريغ ملفاته .

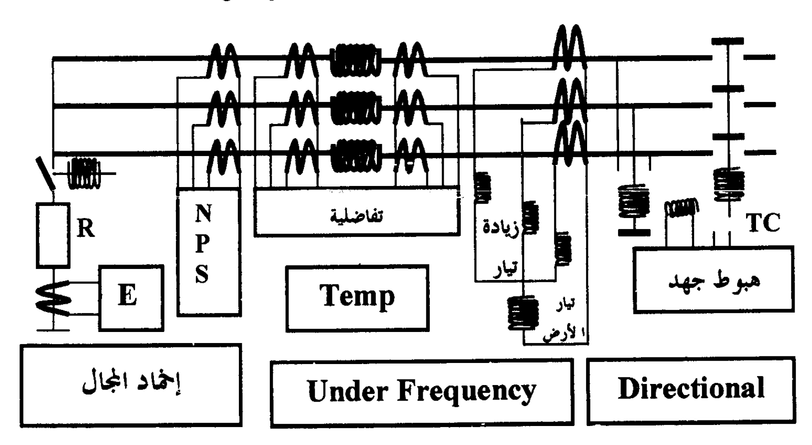
رابعا : منظومة وقاية المولد Protective System

بعد كل ما سبق نستطيع تجميع كل الدوائر الخاصة بوقاية المولد معا في دائرة واحدة وهي ما تعرف باسم منظومة الوقاية بخصوصا وأن هذا التجميع يتأثر بحجم المولد كما نجد في الجدول رقم ٦-٣ والمبين لهذه الدوائر والمناسب منها تبعا لحجم المولد وهي مقسمة في أربعة مستويات بوحدات قدرة ميجا وات .

الجدول رقم ٦-٣ : نوعيات دوائر الوقاية المناسبة للمولدات المختلفة

دائرة الوقاية	أقل من ١م.و	من ١ – ١٠م.و	من ١٠ إلي ١٠٠	أكبر من ١٠٠
التفاضلية			#	#
تيار الأرضي			#	#
بين لفتين				#
زيادة تيار	#	#		
درجة حرارة		#	#	#
الترتيب السالب		#	#	#
فقد الحمل			#	#
فقدان وقاية عكس الاتجاه		#	#	#

يعطي الشكل رقم ٦- ٧ الدائرة التوضيحية العامة لمنظومة الوقاية لمولد ككل في النهاية مبينا عليها كافة أنواع الوقاية غير أن مفرغات الشحنة تستخدم لحمايته من ارتفاع الجهد بجانب تلك المتممات وكل منها يعطي الفصل لأحد القواطع أو الكل بلا استثناء كي يمنع الخطورة عن المولد ففي الشكل يتواجد ٣ قواطع الأول لدائرة المولد والثاني بعد نقطة التعادل والثالث يخص دائرة المجال وهي مع وقاية إخماد المجال ، ففي الحالات الخطيرة علي المولد يتم فصل الثلاث قواطع بينما في حالات أخرى يكتفي بقاطع الأطوار أو الأرض فقط .



الشكل رقم ٦-٧ : منظومة وقاية للمولد

٦-٢ : المحولات Transformers

يتشابه المحول مع المولد في تواجد الملفات وضرورة وقايتها من الخطر بينما يختلفان في أسس الأداء والتشغيل مما يتسبب في التغيير في منظومة الوقاية وفي المحولات نحتاج إلي العديد من الإضافات وهناك من الأخطاء الشائعة بين المحولات العاملة بالشبكات عموما وهي: قصر مع الأرض – قصر بين الأطوار – عيب في القلب المغناطيسي – قصر بين اللفات – الارتفاع الحراري – الانكسار الكهربي للعزل – الانفجار ٠٠٠) ، هكذا يكون التعامل مع موضوع الوقاية في المحولات بعناية أيضا وذلك يتطلب البيانات الأساسية عن المحول مثل القدرة ونسبة التحويل ورقم مجموعة الملفات ومعوقة الملفات وحالة نقطة التعادل بالنسبة للجهد الصفري بالأرض ونوعيه المحول بالزيت أم بالزيت والماء أم بالغاز أو غير ذلك مستوى القصر عند القضبان الرئيسية ووضعه في الشبكة .
تنقسم متممات الوقاية ودوائرها بالنسبة للمحولات علي النحو التالي :

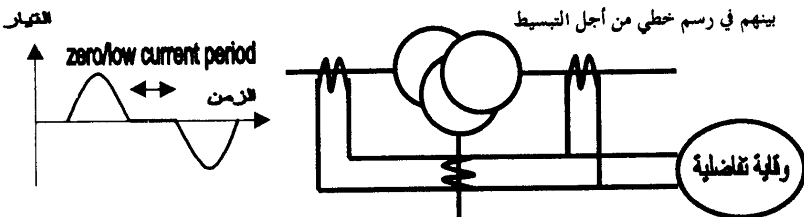
أولا : أجهزة الوقاية Protective Device

تستخدم هذه الأجهزة بغرض الكشف عن العيب وفصله آليا وتتباين بين المحولات الصغيرة لأقل من ١٠٠ ك. ف. أ. تكون الوقاية بالمصهر ذو القدرات العالية في القطع HRC ولا يحتاج إلي إضافات أخرى إلا إذا كانت زيادة الحمل كوقاية حرارية ، أما وقاية زيادة الحمل مع مغير الجهد الآلي للمحولات الكبيرة ومفرغات الشحنة أيضا للقضاء علي ظاهرة الفجائيات في الشبكة ، وجدير بأن نحدد أن تجاوز الحمل للمحولات أمر واقع ويتأثر بدوائر التبريد ونوعية السائل المستخدم للتبريد ومستوي العزل ولكنه قياسيا يتبع الجدول ٦-٤ .
وكل محول من المحولات له بيان خاص بتجاوز الحمل ويظهر عادة في المستوى الأقل عن ١٢٥ % وفيه تزيد المدة الزمنية المسموح لها عن ١٢٥ دقيقة .بينما للمحولات ذات قدرات أعلي وحتى ٥٠٠ ك. ف. أ. نحتاج إلي إضافة وقاية ضد زيادة التيار وعادة علي جهة الجهد الأعلى أما الوقاية ضد التسرب الأرضي فهي ضرورية لحالتي جهد التلامس وسريان الترتيب الصفري في التيارات ، أما بالنسبة للمحولات الأكبر والمستخدمة في شبكات التوزيع وحتى ٥ م. ف. أ. فتزيد دوائر الوقاية لها عن ذلك وتصبح جميعها أساسية ولا يجوز التغاضي عن أي منها وهي المحددة علي النحو التالي :

الجدول رقم ٦- ٤ : بيان بتجاوز الحمل مع الزمن المسموح به في المحولات الكبيرة

نسبة التحميل (%)	١٢٥	١٥٠	١٧٥	٢٠٠	٣٠٠
زمن التحميل (ق)	١٢٥	٤٥	١٥	١٠	١

١- وقاية تفاضلية وهي مثل تلك التي جاءت بالنسبة للمولدات ولكن يضاف هنا أن المحولات قد يكون لها ثلاث أطراف بدلا من أثنين للمولدات ولهذا يعرض الشكل رقم ٦- ٨ هذا النوع من المحلات وطريقة المفاضلة بينهم في رسم خطي من أجل التبسيط



الشكل رقم ٦- ٨ : الوقاية التفاضلية لمحول ثلاثي الملفات الشكل رقم ٦-٩ : التيار المغناطيسي:أثناء زيادة الفيض

٢- التسرب الأرضي وهنا يتواجد نوعين هما تيار المركبة الصفرية والذي يتعلق بالقصر إلي الأرض والنوع الثاني المتعلق بجهد التلامس بين جسم المحول المعدني ونقطة الجهد الصفري

٣- زيادة التيار وهنا تظهر جهتين أو ثلاثة يمكن أن يوضع عليها هذه الوقاية ولكنه من المفضل تركيب متممات الزيادة في التيار علي جهة واحدة توفيرا وتبسيطا ولذلك توضع دائرة الوقاية ضد زيادة التيار علي ناحية الجهد العالي بين أطراف المحول جميعا كي يكون التيار قليلا وتصبح بالتالي الحساسية مرتفعة

٤- زيادة الفيض المغناطيسي **Flux Increase** بسبب ارتفاع الجهد فيزيد من الفقد الحديدي والتيارات المغناطيسية فيصل إلي مستوى التشبع يؤدي إلي ارتفاع حراري في نقاط اللحام والربط في القلب الحديدي مثل ما يحدث تماما مع هبوط الذبذبة (الشكل رقم ٦-٩) وهو ما يظهر من خلال العلاقة الرياضية

الفيض المغناطيسي = ثابت (الجهد / الذبذبة) (٦-٣)

٥- انخفاض الجهد وهو يحمي الجهد علي الأطراف جميعا ولذلك يتواجد في المحولات الكبيرة مغير الجهد للحفاظ عليه باستمرار بل ويعمل آليا (علي حمل) مع كل تغير ليضبط علي القيمة المقننة

٦- انخفاض الذبذبة وهو ما يؤثر بشكل مباشر علي اتزان الشبكة وتوزيع الأحمال بل واستمرارية التغذية في بعض الحالات .

بجانب ما سبق يزيد عنها دوائر أخري مع محولات الجهد العالي والفائق ذات القدرات الكبيرة مثل التعاقب السالب **NPS** والتعاقب الصفري **Zero Sequence** للحماية من جهد التلامس وكذلك الوقاية الحرارية لازدواجية وسط التبريد .

ثانيا : الوقاية بالمظاهر الطبيعية والكيميائية

في هذا البند نجد أنه من الهام تناول المظاهر المصاحبة لعملية انهيار العزل أو التبريد أو الخلل في مكونات وسط ما قد يؤدي إلي قياس حساس لبعض المعاملات وبالتالي تعطي الفرصة في حماية المعدة وهذا هو المتبع مع المحلات بكافة أنواعها وسبل تبريدها ومن هذه النوعيات لتغذية دائرة وقاية خاصة بها ما يلي .

١- متمم قياس الضغط Pressure Gauge

نجد ظاهرة زيادة الضغط لسائل أو الغاز أو أي وسط مستعان به يعني وجود خلل ما أو الاقتراب من ذلك ونستفيد من ذلك في توجيه إنذار بالحالة غير المعتادة من أجل المراجعة والتأكد من سلامة التشغيل أو التخلص من العيب إن أمكن وإلا سيأتي الفصل التلقائي وهذا النوع يحس بالشرارة داخل الزيت والمسببة للضغط أو الأحمال المرتفعة والمسببة للحرارة الشديدة والتي تتحول إلي ضغط في الأوعية المغلقة . وهو يتكون من صمام معه ياي له ضبط بقدر الضغط المسموح به ومن ثم مع زيادة الضغط يتحرك الياي ليسمح بمرور هواء مضغوط يحرك ملامسات تعطي إشارة الإنذار .

٢- متمم معدل ارتفاع الضغط Rate of Rise of Pressure

يختلف هذا النوع عن سابقه في أنه يقيس فرق الضغط ولذلك فهو غير مناسب للضغط الاستاتيكي مثل ذلك الذي ينتج عن الشرارة بل يحس بنوع آخر من خلال مفتاح كهربي صغير يعمل مع الضغط الديناميكي وهو مناسب للأوعية المحولات والضغط بها ويعطي إنذارا بهذا الوضع إذا ظهر .

٣- الوقاية الغازية Buchholze Relay

يعتبر جهاز الوقاية الغازية من أخطر الأجهزة العاملة في منظومة الوقاية للمحول إذا عملت بالدائرة الثانية والخاصة بالفصل لأن هذا النوع من القياس يعتمد علي تجميع الغازات المتولدة داخل تانك المحول في جهاز هو المعني هنا وحيث أن الغازات قد تأتي إلي داخل المحول من دوائر ديناميكيات التبريد للزيت مثلا ومن أعمال الصيانة وتكون غازات متبقية فيعمل جهاز الوقاية الغازية علي مرحلتين هما

المرحلة الأولي : دائرة إنذار Alarm Circuit

ظاهرة الوقاية في هذه المرحلة تعطي إنذارا فقط علي مستوى مرتفع داخل علبة الوقاية الغازية والمسببة لانخفاض عوامة علي المستوى المرتفع upper bulb فتسبب تلامس الملامسات وتغلق دائرة الإنذار فتعطي الإنذار تحسبا للخطأ الناتج عن تجميع الهواء من دائرة التبريد كما يعطي الفرصة للمهندس المختص باختبار الغازات التي

ظهرت عما إذا كانت قابلة للاشتعال لأن القابلية للاشتعال تعني وجود شرارة داخلية في العزل (ملف أو زيت)، أما إذا كانت الغازات غير قابلة للاشتعال فيكون الهواء متجمعا من الصيانة فيتم العمل علي التخلص منها أو شرارة تعطي الغازات قابلة الاشتعال تحتاج إلي المزيد من الاهتمام غير أن هذه الحالة سوف تؤدي بالضرورة إلي تشغيل المتمم بالمرحلة الثانية .

المرحلة الثانية : دائرة الفصل التلقائي Tripping Circuit

تعتمد هذه الدائرة علي الخطورة الواقعة علي المحول إذا استمر في العمل ولذلك تتصل بدائرة الفصل بل ويكون أمر الفصل موجها لجميع ملفات الفصل الرئيسية الخاصة بكل القواطع علي جميع الجهات التي يعمل عليها المحول دون استثناء ويعاد توصيل المحول إلا بعد إجراء الصيانة والاختبارات اللازمة ، وتنضم هذه الوقاية إلي تلك التفاضلية بالنسبة للملفات من حيث الخطورة والأهمية وأسلوب التعامل معهما واحدا .

ثالثا : أجهزة وقاية الأمان والإنذار

هذه المتممات التي تعمل في هذا النطاق ذات مجال واسع للضبط وهي في حقيقة الأمر تتغير من وضع إلي آخر ومن محول إلي نوعية مختلفة ففي المحلات العاملة بزيت المحولات يختلف الوضع عن المحولات المفرغة أو تلك العاملة بغاز سادس فلوريد الكبريت ونضع منها :

١ – متمم ارتفاع الحرارة Temperature Rise

يعمل هذا المتمم علي ثلاث مراحل ففي المرحلة أولي (دائرة الإشارة) تقوم الدائرة بإعطاء الإشارة ، إذا وصل لدرجة الحرارة إلي الضبط المحدد في الجدول رقم ٦–٥ ،إلي حجرة التحكم وتقوم بتوصيل دائرة المبردات الاحتياطية للمساعدة علي تبريد المحول وخفض درجة الحرارة وفي المرحلة الثانية (دائرة الإنذار) ، عند الارتفاع بدرجة الحرارة حتى ٩٥ درجة ،تعطي إنذارا في حجرة التحكم بأن درجة الحرارة ما تزال ترتفع عن الحدود الطبيعية وذلك للتأكد من سلامة دوائر التبريد والمبردات الموجودة بالمحول وأية أسباب أخرى بينما المرحلة الأخيرة (دائرة الفصل التلقائي) تعلن أن درجة حرارة المحول قد دخلت إلي منطقة الخطورة وتظهر

الجدول رقم ٦–٥ : مقننات ضبط درجة الحرارة لدوائر الوقاية ضد ارتفاع درجة الحرارة في زيوت المحولات

البيان	درجة الحرارة (مئوية)
تشغيل مبردات إضافية	٦٠
إنذار	٩٥
فصل تلقائي	١٢٠

هذه النوعية بالمحولات المعزولة بالزيت ، مما يلزمنا بتشغيل المرحلة الثالثة آليا كي تعطي أمرا بالفصل وعادة توضع عملية قياس درجة الحرارة في الزيت لعدم سهولة التعامل مع درجة حرارة الملفات وهي تبعا للمقنن المحدد في الجدول رقم ٦-٥ .

٢- مفرغات الشحنة Arrester

تعمل هذه النوعية علي منع الجهد من الارتفاع عن مستوى العزل وبالتالي تعطي مقاومة عالية جدا عند الجهد المقنن بينما تنهار المقاومة وتصل إلي الصفر تقريبا إذا ارتفع الجهد فتؤدي إلي خلق مسار سهل للتيارات في هذه اللحظة وتمر إلي الأرض دون المساس بالملفات حيث أن هذه الأجهزة تتصل مثل محولات الجهد مع الشبكة من جهة ومع الأرض من الناحية الأخرى ، مما يعني أن مفرغات الشحنة ذات مقاومة غير خطية بل وحادة التغير عند مستوى جهد محدد لكل منها ، وهي تتنوع تبعا لنظرية عملها مثل: (مفرغ شحنة ذو العامود والثغرة **Rod Gap** – مفرغ شحنة متعدد الثغرات **multi gap arrester** – مفرغ شحنة طارد **Expulsion Arrester** – مفرغ شحنة صمام **Valve Arrester** – مفرغ شحنة ثيرايت **Thyrite Arrester** – مفرغ شحنة معدني متأكسد **Metal Oxide Arrester**)

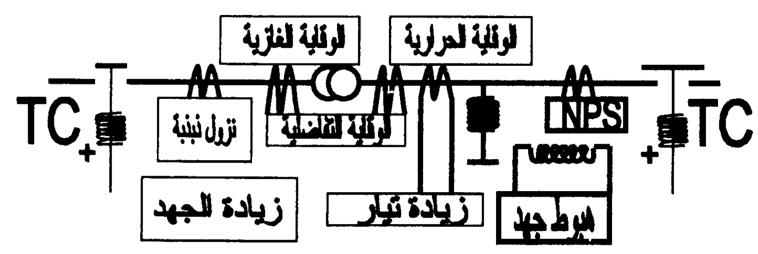
تتمتع هذه النوعية سواء قياس درجة الحرارة أو أية كمية أخري بضمان سلامة تشغيل المحول والقضاء علي أي من مظاهر الخطر بل وعدم الوصول إلي حالات التشغيل الخطرة ويتم ذلك من خلال أجهزة القياس والإنذار من أجل الأمان بجانب أنها تحدد المحاذير التي يلزم تجنبها والعيوب المطلوب التخلص منها أثناء التشغيل والصيانة والمتابعة عموما ، ولكنها جزئيا أو كليا تعتمد علي نوعية المحول كما يظهر ذلك من الجدول رقم ٦-٦ .

الجدول رقم ٦-٦ : بيان بنوعية المحولات المستخدمة لمبدأ أجهزة الوقاية والأمان

مغلق	تهوية جافة	اسكاربل	محول بالزيت	جهاز الوقاية
		#	#	إنذار انخفاض مستوى الزيت Oil Level Gauge
				إنذار بالخلل في ضغط التفريغ Vacuum Level Gauge
				مفتاح الضغط / التفريغ Pressure / Vacuum Switch
#		#	#	ظهور تسرب ضغط Pressure Leakage Valve
#		#	#	مبين ارتفاع الضغط المفاجئ Sudden Rise in Pressure
#	#	#	#	مبين ارتفاع درجة الحرارة Temperature Rise
#	#	#	#	إنذار النقطة الساخنة Hot Spot Indicator

رابعا: منظومة الوقاية للمحول Protective System for a Transformer

ننتقل الآن إلي منظومة الوقاية الكاملة للمحول وسوف نلجأ إلي الرسم الخطي المفرد تبسيطا للرسم من جهة ولأننا نضع دوائر الوقاية في الشكل الصندوقي كما هو معطى في الشكل رقم ٦-١٠ .



الشكل رقم ٦-١٠ : الرسم الخطي لمنظومة الوقاية لمحول

وهو ما يمكن أن نبسطه بشكل عام لكل مستويات المحولات كما وردت في الجدول رقم ٦- ٧ .

الجدول رقم ٦-٧ : بيان موجز للوقاية الخاصة بمحولات القدرة

العيب	الوقاية	الملاحظات
انهيار عزل ملفات أو زيت	وقاية غازية – متمم ضغط مفاجئ – تسرب الضغط	الوقاية الغازية للمحولات أكبر من ٥٠٠ ك. ف. أ.
قصر داخلي	وقاية غازية للمحول ولمغير الجهد وقاية تفاضلية زيادة تيار	وقاية بطيئة للمحولات أكبر من ٥ م. ف. أ. متمم ذو فصل سريع
تشبع الدائرة المغناطيسية	وقاية زيادة الفيض زيادة الجهد	للمحولات الهامة
الاتصال مع الأرض	تفاضلية تسرب أرضي	للمحولات الكبيرة فصل فوري أو متأخر
عيوب عامة	تدرج زمني مصهر HRC	في شبكات التوزيع للمحولات الصغيرة
زيادة الحمل	حراري درجة الحرارة	مزدوج حراري مراحل للآلية
الصواعق والفجائيات	ثغرات مفرغ شحنة	للمحولات الصغيرة تضاف إضافة لتلك للخطوط

نتعامل في بعض الأحيان مع محولات متوازية التشغيل مما يزيد من الصعوبة في التعامل مع دوائر الوقاية لأنه دائما ما تظهر تيارات دائرة داخل المسارات المغلقة فتزيد من درجة حرارة المحولات ولذلك تحتاج هذه الدوائر إلي معاملة أجهزة الوقاية بعناية وتضاف فيها كلا من وقاية زيادة التيار / الاتجاه directional over current – وقاية التيار الأرضي / الاتجاه وذلك علي جانب الجهد المنخفض للمحول لمنع المغذيات السليمة من تغذية القصر حالما وجد .

بالنسبة لوحدة التوليد الكاملة (مولد + محول) كوحدة واحدة فيكون لها الحماية السابقة لكل منهما فالوقاية التفاضلية تشمل ملفات المولد والمحول معا بينما يكتفي بوقاية زيادة تيار واحد وتصبح المنظومة أكثر تعقيدا لعدة أسباب منها

١- زيادة صعوبة ضبط المتممات ودوائرها خصوصا مع ظهور محولات مساعدة في الدائرة
٢- تداخل عدد كبير من محولات التيار في المنظومة
٣- التشبع في محولات التيار خصوصا مع زيادة البردن عليها
٤- اتزان المنظومة ككل أثناء الفصل التلقائي

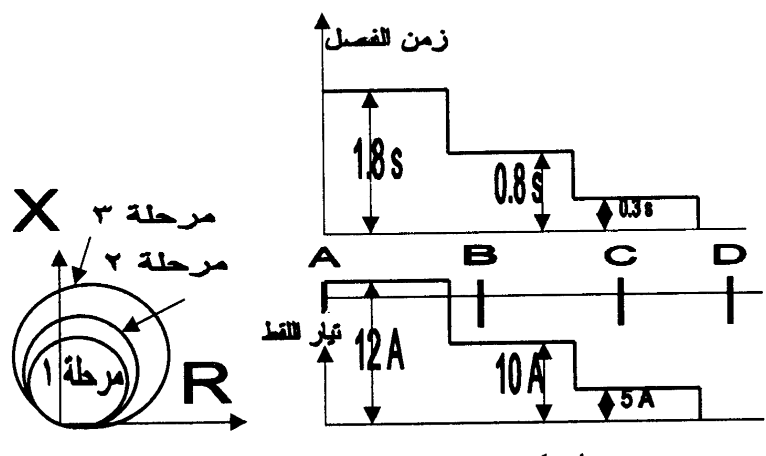
بوضع الدوائر الساكنة والرقمية يمكن التغلب علي هذه العيوب أو أغلبها .

٦-٣ : الخطوط Transmission Lines

سبق الحديث عن متممات المعوقة والموه والممانعة وهذه كلها من الأجزاء الهامة عند التعامل مع منظومة الوقاية للخطوط وهي تشمل الخطوط الهوائية والكابلات وفي هذا الشأن نجد أن وقاية الخطوط تشمل :

١- وقاية زيادة التيار over current protection

يتفرع هذا النوع إلي التدرج الزمني أو بالاتجاه أو محدد التيار ، وقد يستخدم الأسلوب التفاضلي مع المغذيات القصيرة short feeders وقد يعيبه عدم ملاءمة زمن التأخير time lag مع القصر أو أنه قد لا يناسب الشبكات الحلقية بجانب أنه يحتاج إلي التعديل المستمر مع كل تطوير في الشبكة وهو أمر بالغ الصعوبة ونجد أنه كما في الشكل رقم ٦- ١١ المحدد لشبكة محورية محدد بها محولات تيار (٢٠٠ / ٥ أ) مقنن والرسم يحدد أن هذا التدرج قد يكون مع الزمن فقط أو التيار فقط ولكن في النهاية لابد وأن يكون مع كليهما ، كما أن المرحلة يجب أن تكون في حدود ٨٠ % من الطول الكلي للخط وليس ١٠٠ % حتى لا يتداخل المتمم هذا مع وقاية القضبان أو المحولات في المحطة الطرفية . رجوعا إلي التدرج فمع الزمن بالثانية نجد التدرج يستلزم متمم زمني بتأخير محدد أو مع قيمة التيار والمحدد بتيار اللقط مرحليا وهي تختلف عما إذا ما كان المتمم به وقاية



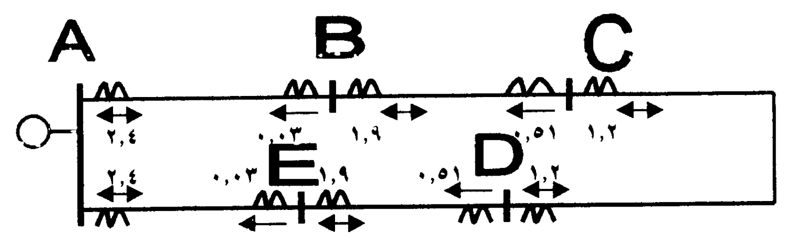
(أ) شبكة محورية بزيادة تيار　　　　(ب) متمم المو

الشكل رقم ٦-١١ : وقاية الخطوط بزيادة التيار والمو

اتجاه أم لا وقد يظهر من الشكل الحلقي وبه وقاية الاتجاه في بعض القضبان بالشبكة حيث يتم إسراع الفصل مع تحديد الاتجاه وعموما يكون الفصل فوريا في المرحلة الأولى ويكون ضبطها علي قيمة التيار المساوية ١٥٠ % من قيمة أقصى تيار قصر ثلاثي الوجه ، بينما يأخذ الطراز العكسي بعد ذلك ويستخدم النوع IDMT من المتممات الزمنية . بالنسبة لقيمة الضبط فهي تعتمد قيمة تيارات القصر ومستوياتها وفي هذه الحالة كانت عند القضبان A بقيمة ٣,٦ ك. أ. و B بقيمة ٢,٩ وأخيرا عند C هي ٢.٢ ك. أ. ، أما بالنسبة للشبكة الحلقية فنجد أن مستويات القصر مبينة في الجدول رقم ٦- ٨ تبعا للاتجاه والضبط الزمني بالثانية مبينا علي الشكل رقم ٦-١٢ مع إظهار نوعية الوقاية مع الاتجاه مع محولات تيار بنسبة ٣٠٠ / ٥ أ .

الجدول رقم ٦-٨ : قيمة مستويات تيار القصر (ك. أ.) علي القضبان في كلا الاتجاهين

اتجاه AEDCB	اتجاه ABCDE	القضبان
١٢	١٢	A
٨	٨	B
٥	٥	C
٥	٣	D
٢	٢	E



الشكل رقم ٦-١٢ : الضبط الزمني مع مختلط نوعية الاتجاه في شبكة حلقية

وأهم ما يمكن حسابه هنا هو معامل زيادة (تشبع) الوصول over reach وهو المحدد بعلاقة ضبط مقاومة اللقط بالمتمم Z_R وقيمة اللقط الفعلي مع القصر Z_F سواء كان الأمبير أو أوم فتصبح الصيغة

$$\text{Over reach } \% = (Z_F - Z_R)\ /\ Z_R \qquad (6\text{-}4)$$

وهذا المعامل قد يظهر مع الدائرة المبينة في الشكل رقم ٦-١٣ حيث يقترب خط مؤرض من ذلك الذي عليه قصر فقيمة ضبط متمم الخط الأول نسبة إلي التأثير المتبادل بين الخطين معاملا لظهور التيار في الخط ويصبح

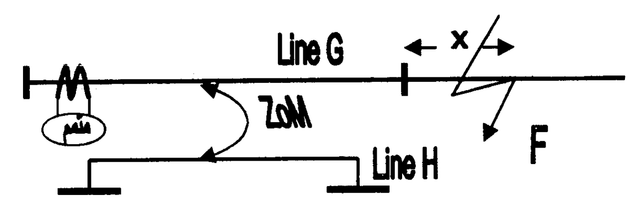
$$I_{HO} = I_{GO}\ (Z_{OM}\ /\ Z_{LO}) \qquad (6\text{-}5)$$

ويقيس المتمم الجهد

$$V_{GR} = (1+x)(I_{G1} Z_{L1} + I_{GO} Z_{LO}) - I_{HO} Z_{OM} =$$
$$= I_{GO}\ [(1+x)(2Z_{L1}+Z_{LO}) - \{(Z_{OM})^2 / Z_{LO}\}] \qquad (6\text{-}6)$$

أما التيار الذي يصل المتمم فهو

$$I_{GR} = I_G + I_{GO}\ (Z_{LO}/ Z_{L1}-1) = I_G + I_{GO}\ (K-1) = 2I_{G1} + I_{GO}K \qquad (6\text{-}7)$$

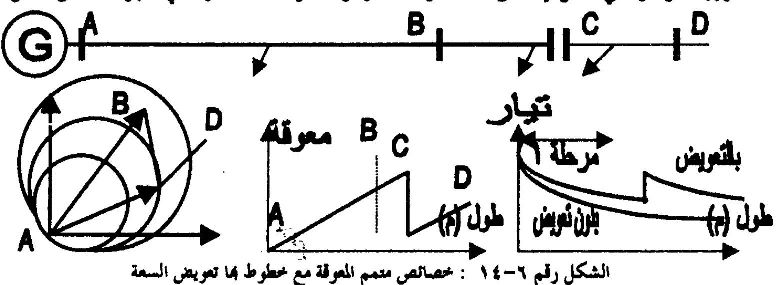


الشكل رقم ٦- ١٣ : تشبع الوصول علي خطين متوازيين والتأثير المتبادل

ويجب ضرب القيمة أقصى مستوي قصر في المعامل ١,٢٥ لتغطية تواجد مركبة التيار المستمر من أجل الضبط الجيد لقيمة لقط المتمم .

٢- وقاية المعوقة أو الممانعة Impedance

وهو ما نراه في الشكل رقم ٦-١١ لمتمم الموه والمحدد به مراحل الفصل بتلك الدوائر المحورية معا ويكون التشغيل عاديا خارج الدائرة وإذا ما انتقلت نقطة العمل من الخارج إلي الداخل كان لازما الفصل ويكون فوريا في المرحلة ١ وهي أصغر دائرة بينما يزيد الزمن في المرحلة ٢ ثم يزيد في المرحلة الأخيرة من مراحل التدرج في الفصل وقد تعطي متممات الممانعة تمييزا أفضل في مثل هذه الحالات ، وينظم الجدول رقم ٦-٩ كافة البيانات الهامة لوقاية المسافة . تعمل هذه القيمة بشكل فعال مع خطوط الجهد الفائق ٥٠٠ أو ٧٥٠ أو ١١٥٠ ك. ف. حيث نري في الشكل رقم ٦- ١٤ التصرف التام مع الخط بالتعويض المعتمد علي محطة سعة علي التوالي في الخط وهو ما يظهر الخصائص بوجودها أو لا لبيان الفرق ولهذا نحتاج إلي المتمم R2 في الاتجاه العكسي كضرورة للتركيز علي الخلل في قياس قيمة المعوقة عند وجود قصر بعد السعة وبالتالي تظهر خصائص العمل



الشكل رقم ٦-١٤ : خصائص متمم المعوقة مع خطوط لها تعويض السعة

٣- وقاية ضبط الجهد Voltage

هذا الضبط قد يكون تحديدا لزيادة الجهد حفاظا علي مستوى العزل أو انخفاضه خوفا علي استقرار الشبكة أثناء التشغيل ومتمم وقاية زيادة الجهد يختلف عن مفرغات الشحنة المعتادة للقضاء علي الموجات المسافرة عبر الخطوط أثر ضرب الصاعقة لأحد أوجه الخط أو حتى السلك الأرضي فينتقل بالتأثير بجزء أقل إلي الأوجه ولكنه يظل هائلا وخطيرا .

٤- وقاية الخطوط بالذبذبات العالية HF Protection

من الممكن أن يتم هذا بالموجات عالية التردد سواء كانت موجات الراديو (مدى ١٠٠٠ - ٣٠٠٠ ميجا هيرتز) لوقاية المغذيات أو الكاريير للخطوط الطويلة وحديثا يدخل معهما أو بدلا منهما شبكة الحاسب الآلي

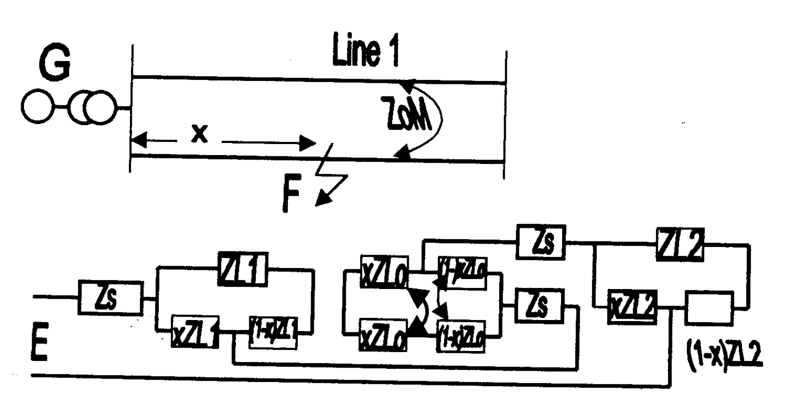
الجدول رقم ٦-٩ : خصائص وقاية المسافة للخطوط

القيمة المؤثرة	الخصائص	ملاحظات
المعوقة Plain Impedance	JX R	تتأثر بجهتي التوصيل – تتأثر بمقاومة القصر تتأثر بخصائص المولد (تأرجح) – يصلح للأطوال الكبيرة – يعمل داخل الدائرة
المعوقة والاتجاه Directional Impedance	JX R	محدد اتجاه تشغيل المتمم
الموه Admittance	JX R	لا يتأثر مع تأرجح المولد تأثير مقاومة القصر ضعيف يفضل للخطوط الطويلة
موه ضبط Offset Mho	JX R	يعمل كاحتياطي لوقاية القضبان لا يتأثر بصفة تأرجح المولد
ممانعة وموه Reactance aided Mho	JX R	للخطوط القصيرة
أوفال Oval (Double Lens)	JX R	يمكن المقارنة الجيدة مع الدوائر الساكنة لا يتأثر بصفة تأرجح المولد صفات ضيقة الخصائص (جيدة) يعمل في الربع الموجب
الزاوية quadrangle	JX R	مع المتممات الساكنة عديدة المقارنات صفات في منطقة صغيرة لا يتأثر مع تأرجح المولد لا يعتمد علي قيمة الشرارة إلي الأرض

٥- وقاية تجاوز الحمل بالفصل المتأخر

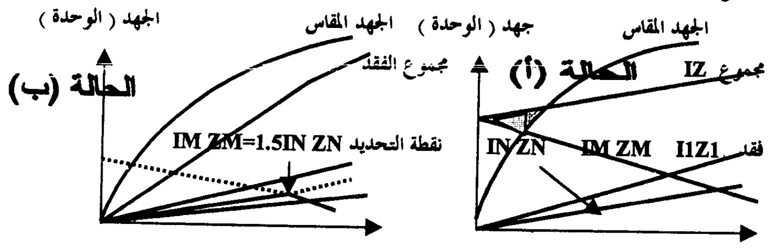
ذلك لأن الفصل المتأخر هو وقاية احتياطية وهي تتراوح في حدود الدقائق ولذلك فهو فصل متأخر جدا ويصلح ذلك مع ضبط التيارات الصغيرة في مستوى القصر علي المتممات وفي دوائر الوقاية .

أما عن الخطوط المتوازية **Parallel Lines** كما في الشكل رقم ٦- ١٥ حيث الرسم الخطي للشبكة وبها كابلات متوازية بجانب الدائرة المكافئة لربط الترتيبات الثلاث (الموجبة والسالبة والصفري)



الشكل رقم ٦- ١٥ : تحليل لدائرة الخطأ مع الأرض لأحد خطين متوازيين

تأثير الحث المتبادل بين الخطين علي تصرفات المتمم قد أوضحها الشكل٦-١٦ ففي الجزء (أ) التشغيل الرديء المحتمل نتيجة التأثير المتبادل المعروف بينما يعرض الشكل (ب) التأثير المحدود لهذا النوع من التعويض المتبادل



الشكل رقم ٦-١٦ : التعويض المتبادل في الخطوط المتوازية

يتضح أن الحالة الأولي (ا) تعطي منطقة التشغيل السيئ عند قيام المتمم علي الخط ١ بعمله وهذا يتحدد في بداية الرسم بين خطي مجموع الفقد والجهد المقاس بينما في الحالة الثانية (ب) يختفي هذا العيب حيث أن الصفات محددة وأختفي هذا الخط لمجموع الفقد من الرسم .

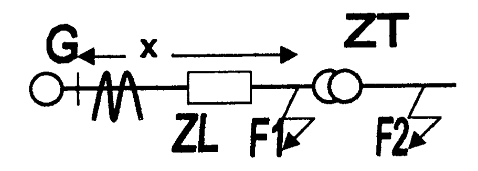
يأتي المعامل فقد الوصول under reach في حالة الخطوط المتوازية قد ظهر علي نقيض الخط المستقل وهو

$$\text{under reach}=Z_{line2}(\text{inside zone}) \times I_{Fline\ 2}/I_F \qquad (6\text{-}8)$$

ومن ثم نصل إلي المعامل المئوي لفقد الوصول علي النحو

$$\text{under reach \%}=\text{under reach}/\text{relay reach} \qquad (6\text{-}9)$$

هذا التشبع أو النقص في تشغيل المتمم ذاته يكون هاما مع الحالات الفجائية وهكذا يعطي الشكل رقم ٦- خطا يتكون من مغذي ومحول لحمل ونرى في الجدول رقم ٦- ١٠ الضبط اللازم مع التشبع الزائد تبعا لتغير قيمة النسبة (معوقة المحول / (معوقة المنبع + معوقة الخط) بين ٠,٢٥ و ٨ حيث قيمة الضبط Ix هي ١,٢ (١+ التشبع للحالات الفجائية بالوحدة Transient Over Reach) تيار القصر عند F2.

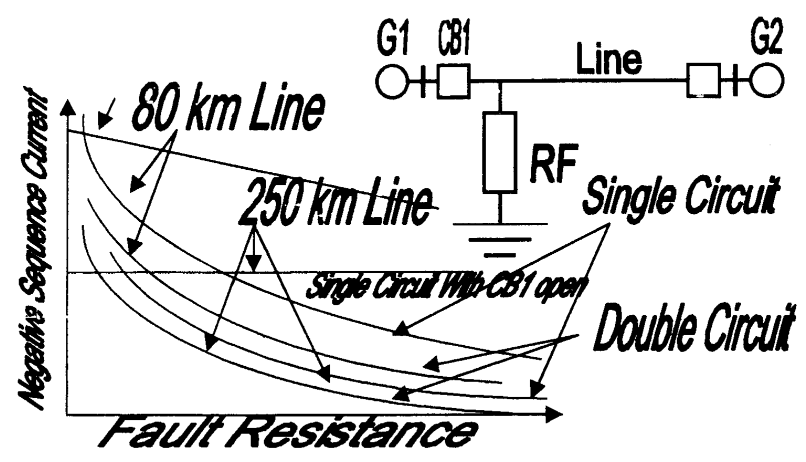


الشكل رقم ٦-١٧ : محول ومغذي مع الضبط المتعلق بالحالة الفجائية

الجدول رقم ٦-١٠ : نسبة ضبط المتممات (Is/IF1) مع الاعتبارات الفجائية في التشبع الزائد%

تشبع الفجائية (%)	٥	٢٥	٥٠	١٠٠
٠,٢٥	١,٠١	١,٢	١,٤٤	١,٩٢
٠,٥	٠,٨٤	١	١,٢	١,٦
١	٠,٦٣	٠,٧٥	٠,٩	١,٢
٢	٠,٤٢	٠,٥	٠,٦	٠,٨
٤	٠,٢٥	٠,٣	٠,٣٦	٠,٤٨
٨	٠,١٤	٠,١٧	٠,٢	٠,٢٧

يمكن ربط وقاية التيار كقيمة الترتيب السالب مع قيمة مقاومة القصر بشكل الإطار المبين في الشكل رقم ٦-١٨ حيث يربط الخط بين مولدين وتتغير هذه المقاومة التي تمثل مدى شدة الاتصال مع نقطة القصر .



الشكل رقم ٦- ١٨ : تأثير مقاومة القصر علي التيار بالترتيب السالب في حالة القصر مع الأرض

٦-٤ : المحركات Motors

تتعرض المحركات في الشبكات الكهربية للعديد من الأعطال وهي ما يمكن إيجازها علي النحو

١- أعطال خارجية External Faults

وهي التي تتمثل في بعض العيوب أثناء تشغيل الشبكة الكهربية ومنها : (تشغيل علي وجه واحد أو وجهين single phasing – عدم اتزان الجهد Unbalanced System – هبوط الجهد Under Voltage – عكس أحد الأوجه في البدء Reverse Phase – قطع أحد الموصلات Open Phase – فقد التزامن Loss of Synchronism) .

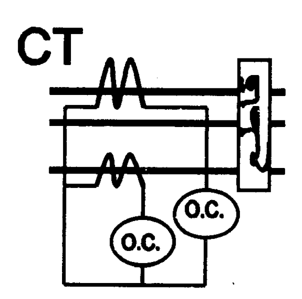
٢- أعطال داخلية Internal

وهي كثيرة ويمكن أن نختصر أهمها في العيوب الميكانيكية Mechanical مثل نسبة السماح في الكراسي bearing أو رولمان البلي أو عيوب تصنيع manufacture مثل مستوى العزل للملفات insulation سواء مع العضو الدوار أو الثابت أو عيوب استعمال Bad Use مثل تجاوز الحمل Over Load أو عيوب صيانة maintenance كاتصال أحد أطراف الملفات مع الأرض .

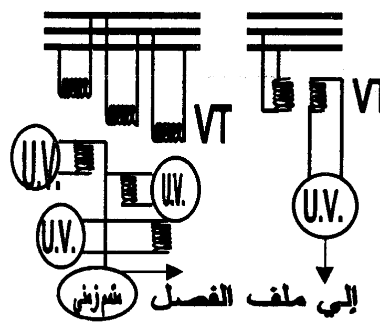
لذا يلزم حماية المحركات عن طريق دوائر الوقاية والتي تعتمد علي البيانات الأساسية للمحرك وهي : (تيارات البدء starting currents ومدها وهي التي تقترب من ستة أمثال التيار المقنن ولمدة ٥ ثواني – طريقة البدء starting concept – طريقة إيقاف المحرك stopping method – خصائص السرعة وأسلوب التحكم فيها speed control كما يضاف إلي هذه البيانات تلك الأساسية وهي مقنن الجهد والتيار والقدرة وكذلك نوعية المحرك عما إذا كان قفص سنجابي أو تأثيري أو تزامني ونوعية أجهزة البدء والتحكم ونوع الأحمال المحتمل أثناء التشغيل . أما عن وسائل الوقاية للمحركات في تنقسم إلي نوعين :

الأول : وهو المستخدم في دوائر المحركات البسيطة صغيرة الحجم (حتى ١٥٠ حصان) وهي عادة تعتمد علي المصهر عالي القدرة HRC وهو الملائم للمحركات حتى ١ ك. ف. ، كما أن اختيار هذا المصهر يعتمد علي مقنن المحرك وله جداول متداولة تبعا للمواصفات القياسية وهي كلها مؤسسة علي ٦ أمثال التيار المقنن ولمدة ٥ ثواني ، كما يضاف عادة وسيلة وقاية لتجاوز الحمل وهي الوسيلة الحرارية ، أما بالنسبة للجهد ٦.٦ ك. ف. فيضاف الفصل عن زيادة التيار

الثاني : ما يخص المحركات الكبيرة والصغير منها نسبيا وللجهد ٦.٦ ك. ف. أو أكثر تعتمد علي القاطع الكهربي والذي عادة ما يكون هوائيا أو زيتيا كما نحتاج إلي الوقاية التفاضلية أم الأحجام الأكبر فهي ما يجب أن تعتمد علي قاطع التيار وملحقاته من منظومة الوقاية التي تشتمل ، بجانب تلك المعتادة لوقاية المحركات الصغيرة ، علي : (وقاية هبوط الجهد – وقاية زيادة التيار – وقاية فقدان الجهد) . هنا نوضح أن وقاية زيادة التيار تتم بناء علي قياس التيار في وجهين كما في الشكل رقم ٦–١٩ ويمكن استغلال تواجد دائرة وقاية ليضاف إليها وقاية الفرق بين التيارين (التيار الأرضي إلي حد ما) ، وتصبح دائرة وقاية مزدوجة الهدف وهذه



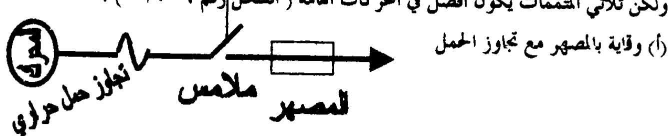
الشكل رقم ٦–١٩ : وقاية زيادة التيار للمحرك

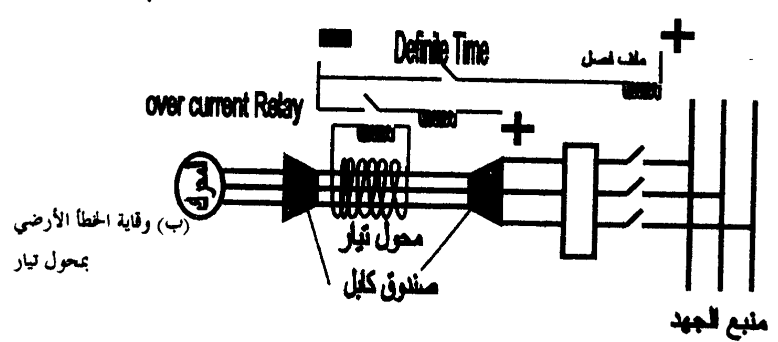


الشكل رقم ٦–٢٠ : وقاية هبوط الجهد للمحرك

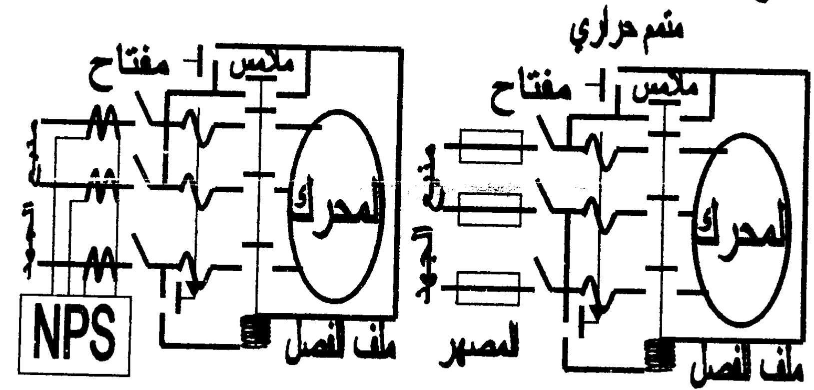
الدائرة من الممكن أن تعمل علي التيار المستمر أو التيار المتردد (نفس المصدر) وبنفس الأسلوب يوضع محول الجهد بين وجهين فقط ليعطي وقاية هبوط الجهد كما يمكن استخدامه علي الثلاث أوجه وكلاهما يعمل بكفاءة ولكن ثلاثي المتممات يكون أفضل في المحركات الهامة (الشكل رقم ٦-٢٠) .

(أ) وقاية بالمصهر مع تجاوز الحمل





(ب) وقاية الخطأ الأرضي بمحول تيار



(ج) بادئ مغناطيسي لمحرك تأثيري منخفض الجهد (د) وقاية من تشغيل وجه أو أثنين

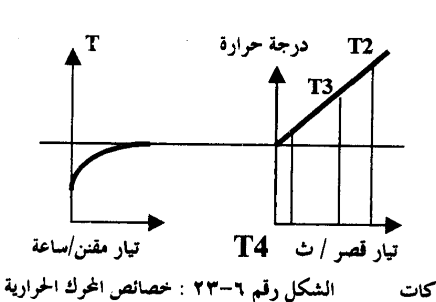
الشكل رقم ٦-٢١: دوائر وقاية المحركات المختلفة

أسباب عدم اتزان الجهد وهو أكثر الأخطاء شيوعا هي: (تحميل غير متماثل علي أطوار المحول المغذي للمحرك أو أحد الأطوار مقطوع أو مغير (منظم) الجهد علي أزجه المحول غير متماثلة أو معوقة أحد ملفات، الأطوار في المحول المغذي غير متماثلة مع الآخرين وتكون عادة في حدود ١,٦ – ٦ % من المعوقة الكلية أو مكثفات بدء الحركة غير متماثلة أو منظم الجهد لا يعمل أو خطأ في معايرة مغير الجهد أو منظم الجهد بالمحول ضعيف) .

دوائر التشغيل والوقاية للمحركات أبسط من غيرها وهي مدرجة في الشكل رقم ٦–٢١ حيث نري أربعة حالات ففي المحركات الصغيرة نري في الشكل (أ) أن تجاوز الحمل الحراري بجانب المصهر أساسا خصوصا وأن الزيادة المستمرة في الحرارة تؤثر سلبا علي مستوى عزل الملفات ومع الزمن من الناحية الأخرى مما يستوجب العناية بمبدأ الوقاية الحرارية مع المحركات ، بينما في الشكل (ب) نجد أن محولات التيار المحورية قد تستخدم للحفاظ علي تماثل الأوجه ولالتقاط أي قصر إلي الأرض مع استخدام متمم زمني محدد بوقت الفصل كحماية عند تواجد القصر مع الأرض ومن حيث المبدأ لا يوصى بتأريض نقطة التعادل في المحركات تقليلا للمخاطر الناجمة عن زيادة مستوى القصر ويكون هاما متمم الوقاية من التيار الأرضي إذا كان تيار الأرض أكبر من ٥ – ١٠ أ في الدوائر الصغيرة ، أما الشكل (ج) فيعطي دائرة التحكم في تشغيل وفصل المحرك حيث يحصل ملف الفصل علي الجهد من المنبع وبالتالي يعطي الفصل المباشر بينما يستخدم كلا من الوقاية الحرارية لتجاوز الحمل بجانب زيادة التيار التي يغطيها المصهر لما له من مزايا عند التعامل مع دوائر المحركات. أخيرا مع الارتفاع بقدرة المحركات نحتاج إلي وقاية زيادة التيار بالزمن (شكل د) ليستعان بوقاية زيادة التيار بدلا من المصهر. ولذلك نجد المحركات في محطات الكهرباء تحتاج إلي منظومة معقدة تشمل دوائر الوقاية من القصر مع الأرض وهبوط الجهد وعدم الاتزان كما قد يستخدم أحيانا الوقاية التفاضلية لحماية المحركات من القصر بين لفات الملف وكذلك يمنع إعادة بدء تشغيل المحرك آليا بعد فصله وإن كان لازما فيجب التعامل مع متمم هبوط الجهد .

الزمن
خصائص العزل الحرارية
متمم تجاوز الحمل
متمم اللقط
التيار
تيار فرملة

الشكل رقم ٦– ٢٢ : الفصل التلقائي في المحركات



الشكل رقم ٦–٢٣ : خصائص المحرك الحرارية

جدير بالذكر أن وقاية تجاوز الحمل تغطي بعضا من الأخطاء مثل: (هبوط الجهد – التوصيل علي طورين single phasing حيث تصدر القدرة المطلوبة من وجهين فقط فتزيد من الحرارة مع ظهور الترتيب السالب – عدم بدء حركة الجزء الدوار stalling – البدء فوق المقنن heavy starting – استمرارية الحمل العالي – الفرملة كما يجب أن خصائص الفصل التلقائي عن الخصائص الحرارية لعزل المحرك (الشكل رقم ٦– ٢٢).
يتأكد من الرسم الخصائص الحرارية للمحرك أعلي من متمم تجاوز الحمل أو بصفاته الأبعد عن هذه الخصائص وخصوصا مع المحركات الكبيرة مثل ذلك المحدد بمتمم اللقط pick up relay ويصلح مع كود التركيبات بالمناطق الخطرة حيث قابلية الانفجار أو الاشتعال .

تظهر الوقاية الحرارية مع عطب أحد أجزاء التبريد أو مع ارتفاع درجة حرارة الوسط الخارجي المحيط أو بزيادة التحميل علي المحرك ،ويجب ضرورة الالتزام بمناطق التشغيل ومستوى خطورتها من حيث الانفجار أو القابلية للاشتعال ويحدد الجدول رقم ٦– ١١مستويات العزل الكهربي تبعا للمواصفات وفيها أربعة مستويات .

الجدول رقم ٦– ١١ : درجة الحرارة القصوى لمستويات العزل الحراري للملفات (مئوية)

مستوى العزل	E	B	F	H
تواجد حراري مستمر	١١٥	١٢٠	١٤٥	١٦٥
حرارة مستمرة	١٠٥	١١٠	١٣٠	١٥٥
عند نهاية زمن الارتفاع الحراري	١٧٥	١٨٥	٢١٠	٢٣٥

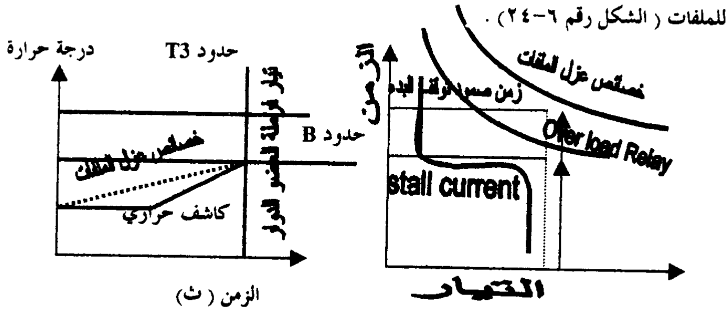
يأخذ الجدول رقم ٦– ١٢ يأخذ مستوي العزل رقم F مثلا ويحدد داخله مستويات الحرارة حيث نجد تجاوز الحمل يعتمد علي البقع الحرارية (مصدر الحرارة) داخليا أو خارجيا مما يستلزم نتواجد كاشف حراري ولا يسمح بأي زيادة حرارية أو استمرارها وهنا نجد الجدول بعدد ١٠ درجات كلفن عن حدود الحرارة القصوى في التصميم للمناطق العادية يزيد من عمر الملفات وبالتالي المحرك إلي الضعف تقريبا مقابل بعضا من التكلفة وزيادة الحجم . كما يضع الشكل رقم ٦– ٢٣ الصفات الحرارية المصاحبة لمثل هذه التركيبات

الجدول رقم ٦– ١٢ : حدود مستويات الحرارة في مستوى العزل F

مستوى الحرارة	شرط	T1	T2	T3	T4	T5	T6
حرارة الاشتعال	⩽	٤٥٠	٣٠٠	٢٠٠	١٣٥	١٠٠	٨٥
أقصى حرارة بالسطح	⩾	٤٥٠	٣٠٠	٢٠٠	١٣٥	١٠٠	٨٥
ملفات بحرارة مستمرة	⩾	١٤٥	١٤٥	١٤٥	١٤٥		
ملفات عند النهاية الحرارية t_E	⩾	٢١٠	٢١٠	١٩٠	١٣٠	٩٥	٨٠

الخاصة بمناطق الخطورة ولذلك يتم اختيار المحركات لتغطية أفضل أداء دون أدنى خطورة ونري في الشكل رقم ٦- ٢٤ خواص أداء متمم بزمن الفصل المحدد وهو الملائم لمثل هذه الحالات .

قد نجد الخصائص الحرارية لعزل ملفات المحرك هي التي تتفوق علي خصائص الفصل التلقائي ومن ثم يلزم عند اختيار ضبط متمم لمحرك أو المصهر اللازم لوقايته فيجب أن تكون صفاته الحرارية تحت المنحنى الحراري للملفات (الشكل رقم ٦-٢٤) .



الشكل رقم ٦-٢٥: وقاية تيار توقف المحرك الشكل رقم ٦-٢٤ : خصائص القصر الحرارية

نظرا لأهمية البادئ في خصائص وقاية المحركات نقدم في الجدول رقم ٦-١٣ بيانات الوقاية تبعا للمواصفات القياسية حيث نري في الشكل رقم ٦-٢٥ خصائص المتمم الذي يمكن أن يعمل حماية المحرك من قيمة ارتفاع التيار عند توقف المحرك عن البدء stalling بحيث يمكن لحماية زيادة الحمل وقاية المحرك منه إذا ما زاد عن

الجدول رقم ٦-١٣ : مواصفات البدء المباشر للمحركات ٤٠٠ ف ، ٥٠ هيرتز ، ٣ أطوار

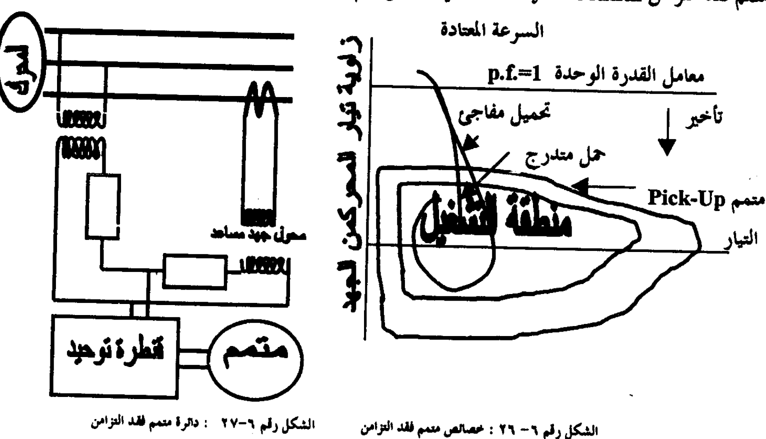
قدرة (ك. و.)	تيار مقنن (أ)	مدى المتمم (أ)	أقصى / أدنى مقنن للمصهر (أ)
٧,٥	١٣,٦	٢٠-١٣	٢٥/٥٠
٩,٤	١٧	٢٠-١٣	٢٥/٥٠
١١	٢٠	٣٠-٢٠	٣٥/٨٠
١٥	٢٨	٣٠-٢٠	٦٠/٨٠
١٨	٣٥	٤٥-٣٠	٦٠/١٠٠
٢٢	٤٠	٤٥-٣٠	٦٠/١٠٠
٢٦	٤٧	٦٣-٤٥	٨٠/١٢٥
٣٠	٥٥	٦٣-٤٥	٨٠/١٢٥

التيار المسبب للزيادة الحرارية وهو إما أن يقع فوق منحنى الحمل الزائد فيعمل المتمم أو تحته فلا يعمل لأنه دون القيمة الخطرة ، وفي الجدول رقم ٦–١٤ نجد المواصفات المرادفة للاستعانة بسكينة نجمة / دلتا في البدء .

الجدول رقم ٦– ١٤ : مواصفات بدء نجمة / دلتا للمحركات ٤٠٠ ف ، ٥٠ هيرتز ، ٣ أطوار

قدرة (ك. و.)	تيار مقنن (أ)	مدى المتمم (أ)	أقصى / أدنى مقنن للمصهر (أ)
١٥	٢٨	٢٠–١٣	٦٠/٦٠
١٨	٣٥	٢٠–١٣	٦٠/١٠٠
٢٢	٤٠	٣٠–٢٠	٦٠/١٠٠
٢٦	٤٧	٣٠–٢٠	٨٠/١٠٠
٣٠	٥٥	٤٥–٣٠	٨٠/١٢٥
٣٧,٥	٦٦	٤٥–٣٠	١٠٠/١٢٥
٤٤	٨٠	٦٣–٤٥	١٠٠/١٦٠
٥٥	٩٥	٦٣–٤٥	١٢٥/١٦٠

بالنسبة للمحركات المتزامنة نجد أن الوقاية لابد وأن تشمل أيضا إضافة إلي ما سبق وقايتي التزامن وملفات المجال ، أما عن الملفات فيجب وقايتها ضد الزيادة الحرارية **thermal** والتي تتسبب في تغيير السرعة نتيجة الانزلاق **slip** في السرعة فيظهر في صورة حرارية نتيجة تجاوز الحمل للتيار في الملفات وهو ما يؤكد وجود عيب في دائرة التحكم الخاصة بالمحرك **control circuit** أما عن وقاية التزامن فهي تتم من خلال التعرف علي خواص **out of step** متمم الخروج عن التشغيل المستقر في الشبكة (الشكل رقم ٦– ٢٦) ونري دائرة متمم فقد التزامن **loss of synchronism** في الشكل رقم ٦– ٢٧ ، كما يمكن إضافة هبوط الذبذبة أيضا .



الشكل رقم ٦–٢٧ : دائرة متمم فقد التزامن

الشكل رقم ٦– ٢٦ : خصائص متمم فقد التزامن

٦-٥ : وقاية القضبان Protection of Bus Zone

تقوم القضبان بعمل جوهري كنقطة اتصال بين الجهات المختلفة داخل وخارج المحطة سواء كانت محطة توليد أو محولات وأي خطأ فيها يكلف الشبكة عبئا فوق الطاقة كي تحافظ علي اتزانها واستمرار تغذية الأحمال وغالبا ما تكون هناك مشاكل جانبية وتخص منظومة الوقاية وقد تتسبب في انهيار التغذية لمحولات التيار والجهد والدوائر الثانوية ككل وهذه القضبان تتعرض دائما للعديد من الأعطال نتيجة لأخطاء التشغيل أو غيرها كما هي مجدولة إحصائيا في الجدول رقم ٦- ١٥ ولهذا تتطلب الوقاية :

أولا : السرعة tripping speed في الفصل لتقليل مستوي الدمار في الشبكة وكذلك الاعتماد علي الوقاية الاحتياطية للإبقاء علي استمرارية التغذية لباقي أجزاء الشبكة

ثانيا : الاتزان Stability من خلال دقة أداء منظومة الوقاية خصوصا وأن هذا يصاحب الظواهر التالية

١- فصل كل الدوائر الثانوية لمحولات التيار interruption of secondary circuits وهو ما يسبب عدم تماثل المنظومة بالشبكة وبهذا تفصل الأحمال تباعا بناء علي قيمة الضبط في المتممات وخصائص دوائر الوقاية بها

الجدول رقم ٦-١٥ : إحصائية عن نسبة الأخطاء علي القضبان

سبب الخطأ	L-E	2L-E	3L-E	3L	غير معروف	إجمالي	(%)
شرارة	٢٠	٦	١			٢٧	٢١
عيب في القاطع	١٦	٢	٢			٢٠	١٥,٥
فقد عزل القضبان	١٩	٢			١	٢٢	١٧
فقد عزل غير القضبان	٤	١	١	٣		٩	٧
انهيار في CT	٣					٣	٢.٣
تشغيل سكينة خطأ	٨	١	٥	١		١٥	١١,٦
ترك التأريض بعد عمل ما	٦	١	٨			١٥	١١,٦
حالة تلامس	٥		٢			٧	٥,٤
وقوع حطام	٤	١		١		٦	٤,٧
غير محددة	٢	١		١	١	٥	٣,٩
مجموع كل نوعية	٨٧	١٥	١٩	٦	٢	١٢٩	
النسبة المئوية (%)	٦٧,٤	١١,٦	١٤,٧	٤,٧	١,٦		١٠٠

٢- ظهور الصدمات والاهتزازات الميكانيكية mechanical vibration & shocks والتي من المحتمل أن تتسبب في تشغيل أي من المتممات علي سبيل الخطأ

٣- إمكانية تواجد أخطاء تشغيل نتيجة لأعمال الصيانة

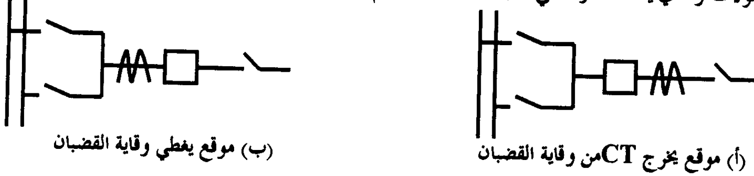
من هذا نجد ضرورة وضع القضبان كمنطقة كما في الشكل السابق في منظومة وقاية متكاملة تشتمل علي :

الدائرة الأولى : فرملة الاتجاه وهي ضرورية حتى لا يتم الفصل مع تلك الأخطاء التي لا تخص منطقة القضبان بل وتعطي الفرصة لغيرها من المتممات كي تعمل بأسلوب التأخير الزمني الهام في هذه الحالات

الدائرة الثانية : مقارنة الأوجه Phase Comparison وهي وقاية هامة حتى لا نفقد الترتيب اللازم في تشغيل الشبكة

الدائرة الثالثة : الوقاية التفاضلية وقد سبق الحديث عنها باستفاضة

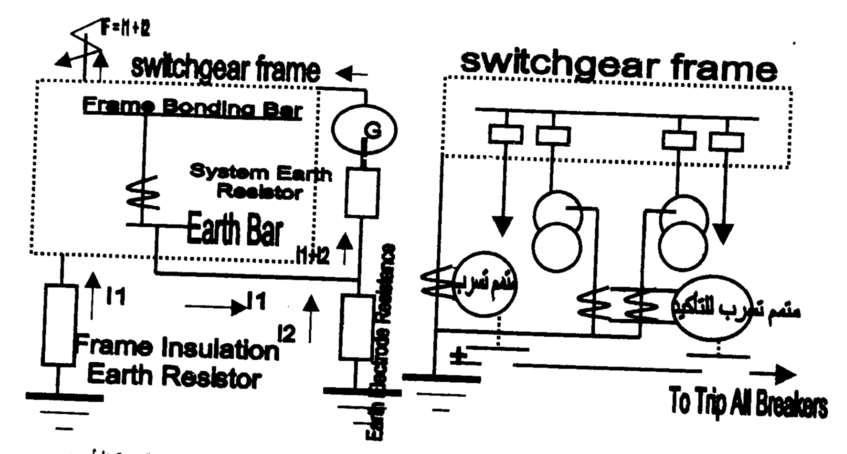
الدائرة الرابعة : منظومة الوقاية الاحتياطية Back Up لتغطية القضبان من خلال وقاية الزيادة في التيار وفيها تدخل القضبان في الحسبان حسب التوصيل وكذلك وقاية المسافة وفيها دائما تدخل القضبان كمرحلة ثانية كي لا يتم الفصل تكرارا وبدون داعي كما يعطي الشكل رقم ٦-٢٨ بيانا توضيحيا لأهمية وضع محولات التيار في شبكات التوزيع والمحورية عموما وهو المبين في الشكل (ب) حيث نجد في الشكل (أ) الوضع الخاطئ لهذه المحولات والذي يفقد القدرة علي حماية القضبان إذا ما تم الفصل نتيجة زيادة تيار علي أحد المغذيات .



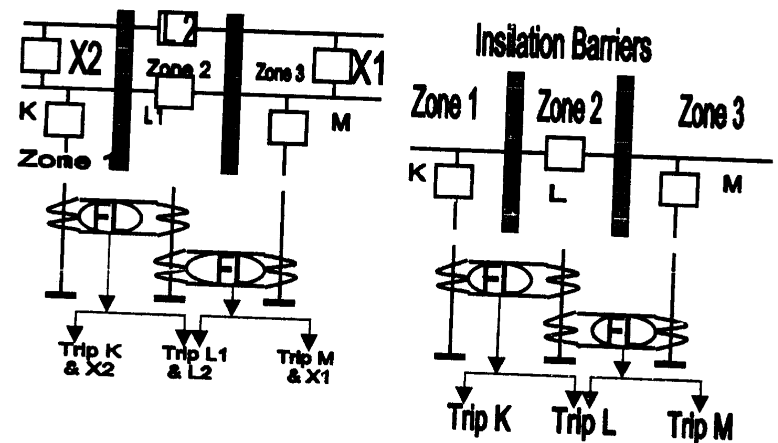
(أ) موقع يخرج CTمن وقاية القضبان (ب) موقع يغطي وقاية القضبان

الشكل رقم ٦-٢٨ : مواقع محولات التيار المحتملة

الدائرة الخامسة : منظومة وقاية التسرب الأرضي من الأجسام المعدنية Frame Leakage Currentوهو ما يجعلنا أن نقوم علي تركيب محول تيار واحد علي الخط الواصل مع نقطة التأريض الصفرية حتى لا يتم تركيب محولات تيار علي كل جسم معدني وتكون النتيجة توصيلهم علي التوازي مما يقلل من كفاءة الأداء أو الحساسية الفعلية لها ولكن بأسلوب توحيد كل التسرب الأرضي في محول تيار واحد للمنطقة ككل (الشكل رقم ٦- ٢٩) يفيد أكثر ويكون أكثر دقة بجانب ألا تزيد مقاومة التأريض عن ١٠ أوم (الشكل رقم ٦-٣٠) حيث نجد توضيحا لتوزيع التيارات في هذه الحالة ، وقد ينقسم القضبان المفرد إلي أجزاء فيكون الخط العازل أو الفاصل مبينا في الشكل رقم ٦-٣١ وقد تكون القضبان مزدوجة فتكون كما في الشكل رقم ٦- ٣٢ .



الشكل رقم ٦-٢٩ : دائرة وحيدة لتسرب التيار ككل الشكل رقم ٦-٣٠: توزيع التيارات ومقاومة التأريض



الشكل رقم ٦- ٣١ : نموذج قضبان مفرد بثلاث مناطق الشكل رقم ٦-٣٢ :أسلوب تأريض مع قضبان مزدوجة

هكذا نري من الرسم أن المناطق المتعددة تعطي فرصة أكبر لاستمرارية التيار وتغذية الأحمال كما يمكن وضع سبل التمييز بين القطاعات المختلفة علي القضبان وهو ما يتم تطبيقه بالفعل في الشبكات الموحدة .

Problems ٦-٦ : مسائل

Assume Any Required Data

1- Design a single protective system for a generator 3 ϕ, 33 kV, star connected with carthed neutral through 10 Ω resistance. Find the percentage protected winding in such case.

2- Diesel Engine generator unit is provided the power of 1 MW to feed a unit system, in which the short circuit level is 13 kA. Its ratings are 3 ϕ, star connected, solidly earthed neutral. Determine all protective circuits for such a network. Illustrate the tripping circuits in details, Use the 3 wire diagram.

3- Draw a complete protective system for the protection of 220/66/11 kV, 125 / 121 / 30 MVA, star earthed / star earthed / delta connection Power transformer. Give details in 3 wire diagram.

4- For a 3 ϕ, 11 / 66 kV, 70 MVA generating unit (alternator with transformer) all types of protective circuits are needed. Give the protective system on 3 wire diagram. Calculate as possible the settings for the used relays.

5- It is known that the angle (α) takes only a definite standard value as 45°, 60°, and 75° as well as the angle 45° is used with distribution systems only, 60° for transmission lines 66-220 kV but 75° for EHV & UHV lines. Comment for reasons.

6- Put the protective system installed on a 450 km, 500 kV, overhead transmission line.

7- Give reasons for the possibility or not to protect the following :

(a) 2 parallel cables

(b) 2parallel overhead lines

(c) single circuit overhead line in parallel with a 3 core cable 60 km 66 kV

(d) Three identical 3core cable 66 kV

8- Draw the protective circuits for the possible installed cases in the above problem.

9- Draw a complete circuit for the earth leakage protection for the bus bar zone if it is 4 zones double bus bar type.

شبكة الوقاية

PROTECTIVE GEAR

في كل موقع محطة كهربية أو مصنع أو أي مكان آخر لا بد وأن تتكامل كافة الدوائر الكهربية داخل منظومة واحدة لكل من المعدات الكهربية مثل المحولات أو المولدات أزو المغذيات أو غيرهم وهو ما سبق إيضاحه في الفصل السابق ويأتي الدور بعد ذلك عن التكامل بين هذه المنظومات معا في شبكة وقاية موحدة في كل موقع وهذا هو دور الفصل الحالي من هذا الكتيب كي تتفاعل جميع المنظومات معا وتكون الوقاية أقرب ما يكون من الكمال وهو ما نهدف به من موضوع الوقاية في الشبكات الكهربية ولهذا نحتاج إلي بعض الإضافات البسيطة بجانب ما سبق لنصل إلي مستوى الوعي المطلوب في شبكة الوقاية بالموقع وهو ما سوف نتناوله في السطور التالية .

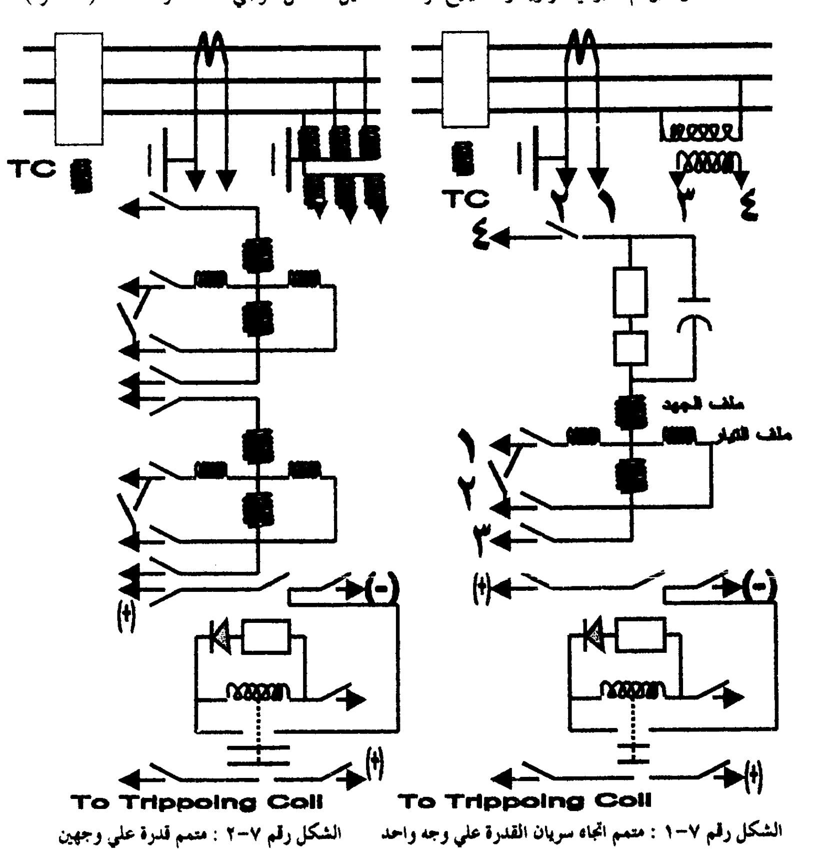
٧-١ : الدوائر التكميلية في منظومة الوقاية

تبينا أن منظومة الوقاية تشتمل علي دائرة وقاية أو أكثر وفي بعض الأحيان كانت الدائرة الواحدة منها تحتوي علي أكثر من متمم وبذلك ظهر المتمم المساعد وأيضا محولات التيار والجهد المساعدة ومن أجل هذه النقاط وبجانب غيرها مما قد نحتاج فيه إلي المزيد من الشرح نضع هذا البند في سلسلة من الموضوعات الرئيسية الهامة في منظومة الوقاية أو دائرة الوقاية ذاتها .

أولا : الوقاية الإتجاهية Directional Protection

تعتمد الوقاية الاتجاهية علي مبدأ الرجوع إلي مرجع أو كمية مرجعية ويقيس عليها الاتجاه ومن الممكن أن تكون زاوية تيار أو جهد أو غير ذلك ولهذا تتنوع هذه المراجع في متممات الاتجاه إلي نوعين هما أما مرجع واحد لكمية واحدة أو لكميتين وبالتالي يجب الاهتمام بعلامات القطبية polarity ، أما عن الوقاية من هذا النوع فلا يمكن أن تستقل بدائرة وقاية ولكنها تدخل دائما علي التوالي مع متممات من نوع آخر كما سبق التوضيح في الفصلين السابقين ومن ثم تدخل متممات الاتجاه مع غيرها من المتممات وبتوصيل التوالي دائما لتكون دائرة وقاية للكمية المختارة مع تحديد الاتجاه. كما يستخدم نوعي المتممات السابقة (الكهرو مغناطيسية والساكنة)

في هذه التطبيقات ونرى في الشكل رقم ٧-١ متمم اتجاه علي وجه واحد الشكل رقم ٧-٢ يعطي هذا المتمم علي وجهين بالاستعانة بالنوع الكهرو مغناطيسي بالنسبة لمتممات اتجاه سريان القدرة ***Directional Power*** كما *تستخدم* أنواع المتممات الساكنة الأساسية بكفاءة عالية مثل استخدام بلورات هول أو قنطرة التوحيد في المتممات الاتجاهية ، وتعمل هذه المتممات بزاوية حركة قصوى (مشوار) قياسية بالقيم ٣٠ ، ٤٥ ، ٦٠ ، ٧٥ ، ٩٠ أو غيرهم أكبر في الزاوية وهذا يتيح فرصة لتسجيل الشكل الموجي عند حدوث الخطأ (القصر) .



الشكل رقم ٧-٢ : متمم قدرة علي وجهين

الشكل رقم ٧-١ : متمم اتجاه سريان القدرة علي وجه واحد

ففي متممات هول تقاس الزاوية بين كلا من التيار I والجهد V كما تتحول قيمة الجهد إلي القيمة التفاضلية dV/dt وتكون هي المدخل الأول مع التيار بينما يستقبل المدخل الثاني الجهد مع القيمة التفاضلية للتيار dI/dt أما المخرج فيكون الفرق بين المدخلين في الصورة

$$\text{Out put} = V\,(dI/dt) - I\,(dV/dt) \qquad (7\text{-}1)$$

ويستعان أيضا بقنطرة التوحيد وقد سبق التعامل معها في الفصول السابقة وهناك متمم المقارنة الجيبي وتكون في الزاوية بين التيار والجهد هي المعيار حيث تقارن مع القيمة المرجعية للزاوية والتي عادة تكون ٩٠ وهناك أيضا متمم المقارنة بالقيمة ويعتمد علي المرجع كقيمة محددة لتحديد الاتجاه وتعمل الدوائر المتكاملة والرقمية دورا رئيسيا في هذا النطاق وبدأت تحل محل كل المتممات من الطراز الديناميكي السابق .

ثانيا : الوقاية الاحتياطية Back Up Protection

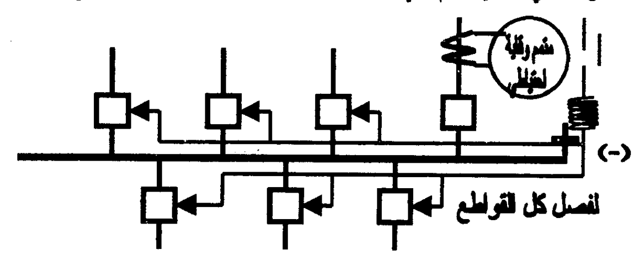
تنقسم الوقاية الاحتياطية إلي نوعين هما

النوع الأول : الوقاية المجاورة Adjacent Back Up Protection

هذا النوع متبع وشائع الاستخدام وتعتمد عيه شبكات الوقاية علي وجه العموم ولكنه غير كاف لأنه معيب بالحساسية المنخفضة وهو متبع مع العديد من دوائر الوقاية مثل زيادة التيار وكذلك وقاية المسافة وقد سبق الشرح لهذه النوعية من قبل في الفصول السابقة .

النوع الثاني : الوقاية المحلية Local Back Up Protection

ذلك النوع هو الأكثر دقة لأنه عالي الحساسية ويستخدم بصفة مستقلة للحماية ضد فشل أي من القواطع في أداء الفصل التلقائي فيعمل المتمم علي إصدار الأمر لكل ملفات الفصل لكل القواطع المشتركة مع القاطع كي

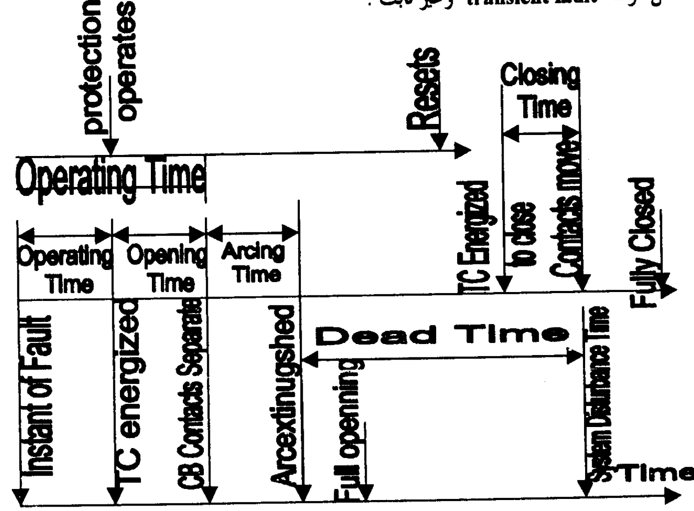


الشكل رقم ٧-٣ : وقاية احتياطية من النوع المحلي لفشل أحد القواطع في أداء عمله

يفصل جميع القواطع الأخرى لتحل محل القاطع المعيب فتفصل الدائرة المعيبة وهنا يدب التأكيد علي أن يخصص محول تيار لمثل هذه الوقاية كما نري في الشكل رقم ٧-٣ كما أن هذه النوعية من الوقاية تتميز بجانب الحساسية العالية بميزة الاختيارية .

ثالثا : إعادة التوصيل التلقائي Automatic Re-closing

تؤكد الإحصائيات علي أن ٨٠ — ٩٠ % من الأعطال التي تتسبب في فصل الخطوط الهوائية علي الجهد العالي والفائق عبارة عن أخطاء وقتية عابرة من خلال الكسر الكهربي السطحي المؤقت علي العوازل أو تلامس الأجسام الغريبة الخارجية مع الأسلاك بشكل مؤقت بينما يمثل الباقي (١٠ — ٢٠ %) إما أخطاء مستديمة أو تلك شبه المستديمة ولهذا يوصى بالتوصيل التلقائي بعد الفصل علي قصر للتأكد من أن العطل مؤقت ويبين الشكل رقم ٧-٤ الخريطة الزمنية للتتابع التلقائي في عمليات الفصل والتوصيل بالشبكة في حالة إذا ما كان العطل مؤقتا **transient fault** وغير ثابت .



الشكل رقم ٧-٤ : الخريطة الزمنية لعمليات الفصل التلقائي لحالات الخطأ المؤقت

يظهر من الشكل ٧-٤ أن العلاقة الزمنية المحددة للأزمنة المختلفة الداخلية متعددة فنجد أن زمن الخلل بالشبكة وهو المحدد منذ لحظة الخطأ وحتى إعادة التوصيل الناجح وهو

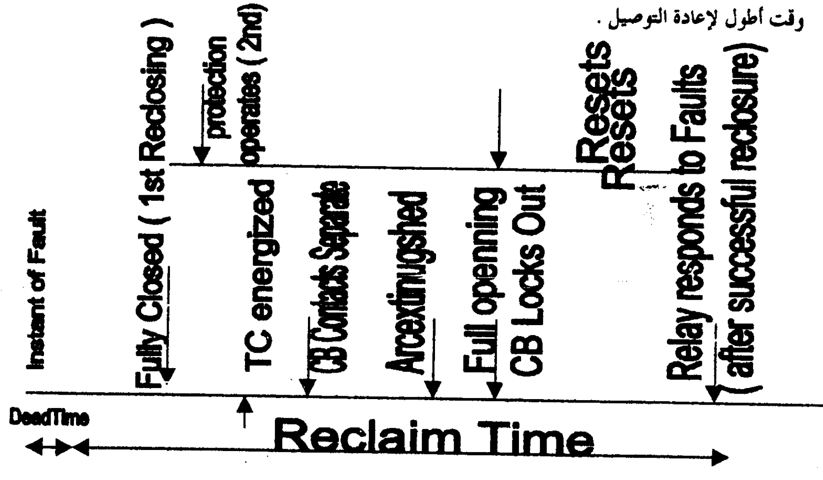
System Disturbance Time = Dead Time + Operating Times (7-2)

نجد أن زمني التشغيل لكل من دائرة الوقاية والإحساس بالخطأ كي يصدر الأمر للمتممات كي تعمل فيبدأ الزمن اللازم لتشغيل المتممات وهو زمن التشغيل الثاني وهو ما ظهر في المعادلة رقم ٧-٢ وهو ما يتضح علي الخريطة في الشكل رقم ٧-٤ ، أما زمن التشغيل الثاني وهو الخاص بمنظومة الوقاية فهو

Operating Time = Opening Time + Arcing Time (7-3)

يعبر الزمن الميت عن الوقت منذ انتهاء الشرارة بين ملامسات القاطع وحتى تكرار نفس اللحظة في حالة إعادة التوصيل التلقائي كما موضح علي الخريطة .

من الناحية الأخرى في حالة الأعطال غير المؤقتة أي الثابتة أو شبه الثابتة فتكون الخريطة الزمنية مكملة بعد تلك المنهية في الحالة المؤقتة (الشكل رقم ٧-٤) وتصبح لها امتدادا تلك الخريطة المبينة في الشكل رقم ٧-٥ فيبدأ ارسم هنا منذ التوصيل التلقائي الأول . وهنا يكون الوقت الميت أكبر من ذلك في الحالة السابقة حيث يدخل في الحسبان مضافا إلي ذلك الوقت الميت السابق ذلك الزمن الخاص بتشغيل منظومة الوقاية في التوصيل التلقائي الأول وقد يقل عن ذلك بوقت التوصيل لملامسات القاطع في المرة التلقائية هذه ولهذا نجد أن خصائص ومواصفات القاطع المستخدم من أهم العلامات المميزة في نجاح عملية التوصيل التلقائي وما قد يسمح به من وقت أطول لإعادة التوصيل .



الشكل رقم ٧-٥ : الخريطة الزمنية لإعادة التوصيل مع خطأ ثابت (غير مؤقت)

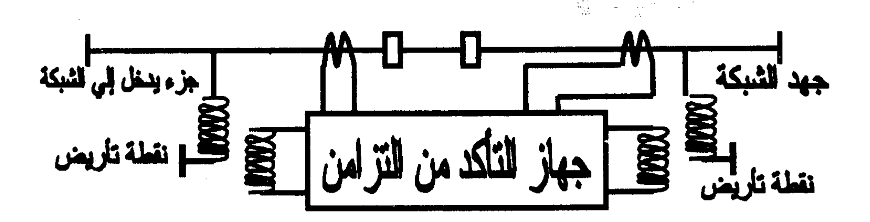
يعطي الجدول رقم ٧-١ بيانا عن المدة الزمنية المقننة لنوعي مفتاحين قياسيين علي الجهد ١١ ك. ف. حيث نجد الميزة الأكبر لزيادة المدة المسموح بها لإعادة التوصيل التلقائي .

الجدول قم ٧-١ : بيان عن الفترات الزمنية (بوحدة الثانية) لتشغيل القاطع ١١ ك. ف.

بيان المدة	القاطع السلونويد	القاطع الياي
من بداية الفصل حتى بداية حركة الملامسات	٠,٠٦	٠,٠٦
من بداية الفصل إلي انتهاء الشرارة	٠,١	٠,١
من نهاية الشرارة إلي إعادة الوضع	٠,١	٠,٠٨
من ضبط الميكانيزم إلي تلامس الملامسات	٠,٣	٠,١٦
من ضبط الميكانيزم إلي التوصيل التام	٠,٣٢	٠,١٨
من نهاية الشرارة حتى تلامس الملامسات	٠,٤	٠,٢٤

رابعا : دائرة التزامن *Synchronizing Circuit*

تأتي دائرة التزامن هذه (الشكل رقم ٧-٦) من أجل الحفاظ علي أي دخول إلي الشبكة فعند دخول مولد يجب أن تتوافر ثلاث شروط للتزامن وهي ذات الشروط اللازمة لتوصيل قضبان مع خط أو مع محول ولا يتوقف الأمر علي المولدات لأن دخول جهة لها نفس صفات المولد وعند تمثيلها رياضيا نأخذ الدائرة المكافئة للمولد ومقاومات أو معوقات باقي الوصلات الأخرى وهذا يعطينا شرطا أساسيا عند التعامل مع التوصيل علي الشبكة سواء جزءا مستقلا أو جزء ا من الشبكة مع آخر في ذات الشبكة أو غيرها من الشبكات المتجاورة يجب التوصيل من خلال دائرة التزامن وهي الدائرة التي تتأكد من وجود شروط التوصيل الثلاث



الشكل رقم ٧-٦ : دائرة التزامن لتوصيل الشبكة الكهربية

٧-٢ : مصدر التيار المستمر D C SUPPLY

نحتاج إلي التيار المستمر علي الجهود المتباينة وبقدرات مختلفة في الكثير من المواقع سواء العلمية أو الصناعية أو مواقع الخدمات فمثلا في المحطات الكهربية بكافة أنواعها مثل التوليد أو المحولات أو التوزيع أو في العديد من المواقع الصناعية نكون في شدة الحاجة لها ويزداد هذا الوضع في الشبكات الصناعية وفي الكثير من الأعمال التكنولوجية وفي الأعمال العلمية والمعامل وغيرهم ولكننا الآن بصدد التيار المستمر في المحطات حيث أن هذا التيار المستمر يقوم علي خدمة الأحمال التالية :

١- شبكة الوقاية بالموقع **protection gear** وهي التي تتكون من كل المنظومات التي تخص وقاية كل المعدات والأجزاء بالشبكة الرئيسية وهي قد لا تسحب أحمالا عالية باستمرار ولكنها قد تسحب فجأة أحمالا فوق الطاقة المقننة وخصوصا مع حالات فصل القصر علي القضبان خصوصا وإذا كانت هذه القضبان غير مجزأة فتكون عدد دوائر الفصل التابعة لمنظومة وقاية القضبان كبيرا وتحتاج إلي تشغيل عدد ضخم منها في آن واحد ولذلك يجب أن تتسع قدرة هذه المحطات علي مثل هذه الحالات كي لا تخرج من منطقة الاتزان .

٢- الأحمال الطارئة بالمحطة **emergency loads** قد نحتاج إليها في حالة انقطاع التيار الرئيسي عن الموقع فتكو ن الإضاءة الطارئة مثلا ولا يجوز بأي حال أن تتساوى هذه الأحمال مع تلك العادية ويجب أن تقل عن ١٠ % من المقنن الأصلي .

٣- ملفات المجال (إن وجدت) **field** وهي التي تغذي مجالات المعدات الكهربية الدوارة المتزامنة النوع بحيث أن يكون مصدرها غير الأصلي المشغل لها أو المستخدم لها حسب الحالة .

٤- دوائر الإنذار **alarm circuits** حيث قمنا هذه الدوائر حال التغير في حالة التشغيل أو لوجود أي عطب في أي من المنظومات التي تخص الوقاية أو خلل في مصدر التغذية بالتيار المستمر ذاته .

٥- ملامسات التحكم الخاصة بالقواطع **contactor control** وهي التي تتحكم في حركة الملامسات في بعض الأنواع من الملامسات وهي هامة جدا خصوصا للتشغيل الطارئ .

٦- دوائر القياس والأمان والتأمين في بعض الدوائر **Measurement & Security** فتكون هامة مع دوائر الوقاية من الأخطار أو لتأمين الدخول السليم إلي الموقع أو في التعامل مع أجهزة الجهد العالي أو الخطأ في التشغيل أو في بعض أجهزة القياس التي تحتاج إلي مصدر تغذية للحفاظ علي التشغيل المستمر السليم .

كما أن المحطات المغذية للتيار المستمر متباينة وهي التي تنقسم إلي نوعين هما :

أولا : النوع المستقل Independent Type

يعبر هذا النوع عن مدى الاستقلالية عن التيار الأصلي ليرفع من اعتمادية التشغيل خصوصا وأننا نحتاج إلي التيار المستمر في لحظات خطرة وطارئة وهي فترات حدوث القصر أو الخلل في تشغيل الشبكة مما يستوجب الحصول علي القدرة من مصدر ذلك الذي به عطب ، ومن هذا المنطلق تأتي البطاريات في مقدمة الحلول حيث أنها لا تعتمد علي المصدر الرئيسي للتغذية خصوصا في فترات حدوث القصر ، وهذه المحطات تتكون من بطاريات وتلك التي تتنوع إلي :

١- بطاريات حمضية **lead acid** وتتنوع منها :

(أ) نوع **conventional floated type**

(ب) نوع **sealed gelled type**

(ج) نوع **sealed liquid-iminobilized type**

٢- بطاريات نيكل كاديوم . **Nickel Cadmium** تمثل هذه البطاريات من حيث التركيب وبالتالي الخصائص من جهة التشغيل والكفاءة الأفضل نوعية مقارنة مع غيرها إلا أنها معيبة من حيث التكلفة الاقتصادية لأنها الأعلى سعرا وتتكون من عدد من الطرز وهي :

(أ) نوع **sealed cell**

(ب) نوع **vented cell**

(ج) نوع **pocket cell**

يتحدد عدد الخلايا المطلوبة للجهد المحدد وهو في حالة المحطات الكهربية ذو مقنن ١٢٠ ف من خلال هذا الجهد فيكون تبعا للخصائص التي تعطي علاقة الشحن والجهد والمبينة فيما بعد حيث الجهد الأقصى يتبع :

الجهد الأقصى = عدد الخلايا المطلوبة x جهد الشحن (٧-٤)

بينما الجهد الأدنى يعتمد علي خصائص التفريغ بالصيغة :

الجهد الأدنى = عدد الخلايا المطلوبة x جهد التفريغ الأدنى (٧-٥)

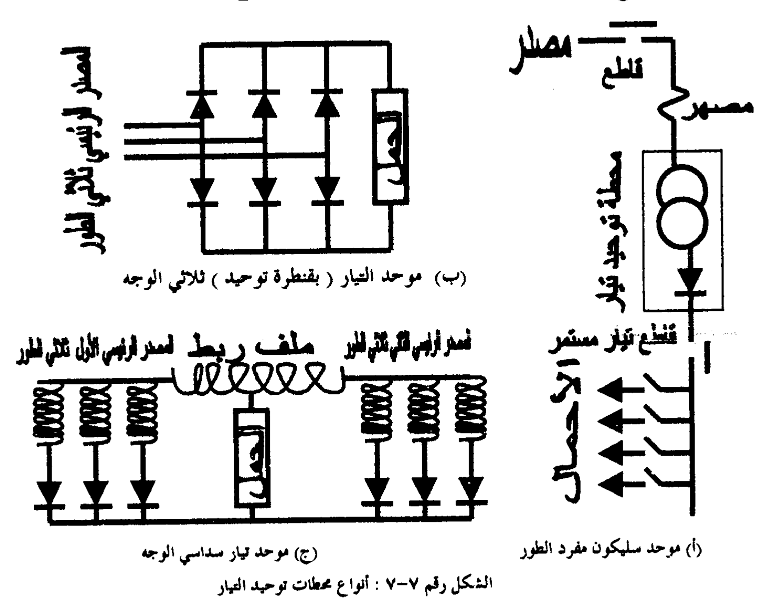
ومن ثم يكون الجهد المحسوب لبعض من هذه الخلايا مدونا في الجدول رقم ٧-٢

الجدول رقم ٧- ٢ : مقننات الجهد للخلايا بوحدات الفولت

نوع الخلايا	عدد الخلايا	جهد أقصى	جهد أدنى	جهد كلي (أدنى / أقصى)
خلايا حمضية	٦٠	٢,٣٣	١,٧٥	١٠٥ / ١٧٠
خلايا نيكل كاديوم	١٠٠	١,٥٢	١,١٤	١١٤ / ١٥٢

كما يظهر من الجدول أن مقنن الخلايا الحمضية هو ٢ ف بينما للخلايا نيكل كاديوم فهو ١,٢ ف وإضافة إلي ذلك توجد بعض المعاملات الهامة للتعامل مع تصميم البطاريات أو التفضيل بينهم وهي : (معامل أمبير ساعة – معامل Rs المحدد لحجم الخلية اعتمادا علي طريقة القطب الموجب – معامل تقادم البطاريات Ka وهو عادة في حدود ١,٢٥ – معامل التصميم Fd وهو يعادل ١,١٥ – معامل التصحيح الحراري KTوهو عادة يساوي الوحدة لدرجات الحرارة المنخفضة) . كما أنه من الضروري متابعة وصيانة هذه الخلايا بأسلوب دوري للقيم الهامة وتتضمن نسبة الحموضة والكثافة النوعية – الوزن النسبي – درجة الحرارة – جهد الخلية .

ثانيا : النوع غير المستقل Dependent Type



(أ) موحد سليكون مفرد الطور

(ب) موحد التيار (بقنطرة توحيد) ثلاثي الوجه

(ج) موحد تيار سداسي الوجه

الشكل رقم ٧-٧ : أنواع محطات توحيد التيار

هنا نعتمد علي وجود مصدر التيار المتغير لنعتمد عليه في الحصول علي التيار المستمر منه مباشرة وبهذا نستطيع التعامل مع التيار المتردد بطريقتين هما :

الطريقة الأولى : محطات التوحيد Rectifier Station

تأخذ محطات التوحيد للتيار (الشكل رقم ٧-٧) أشكالا مختلفة فمنها :

١- محطات توحيد بقنطرة التوحيد من الطور المفرد (الشكل (أ))

٢- محطات توحيد بقنطرة التوحيد من ثلاثي الطور (الشكل (ب))

٣- محطات توحيد بقنطرة التوحيد من سداسي الطور (الشكل (ج))

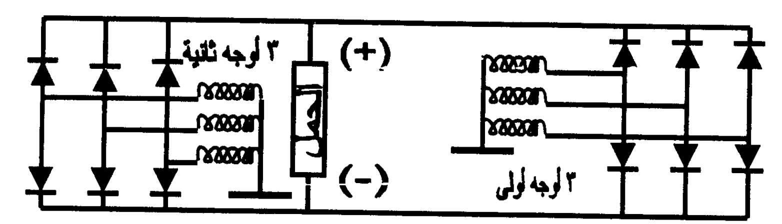
تتعلق هذه المحطات المختلفة بقيمة التيار المستمر ومرشح الذبذبات العالية ويعطي الجدول رقم ٧- ٣ مزايا محطات التوحيد مع نظم التوزيع ثلاثية الأطوار وكذلك السداسية منها وقد تحددت القيمة كنسبة من الجهد المتوسط للتيار المستمر E عند اللاحمل وتيار الحمل I عليه إضافة إلي جهد الطور Vs بالنسبة للتيار المتردد ، كما نوضح أن أقصى جهد يعتمد علي حالة التحميل فمثلا إذا كانت حالة الدائرة المفتوحة فيكون الجهد الأقصى المنعكس هو ٢ (٢) ½ بالنسبة للشكل (ج) بينما عند الحمل الكامل كما يظهر في الجدول بالقيمة (٦½) من جهد الطور في التيار المتردد .

الجدول رقم ٧-٣ : بيان بقيمة المقننات في مختلف محطات التوحيد

البيان	الشكل (ب)	الشكل (ج)
قيمة rms لتيار الملفات	(٢ / ٣) ½ تيار الحمل	{٢ / (٣½)}تيار الحمل
مقنن ملفات D C (ف. أ.)	x١,٠٥ تيار الحمل xجهد الحمل	x١,٤٨ تيار الحمل xجهد الحمل
مقنن ملفات A C(ف. أ.)	x١,٠٥ تيار الحمل xجهد الحمل	x١,٠٥ تيار الحملxجهد الحمل
جهد الخروج	x ٢,٣٤ جهد الوجه	x١,١٧ جهد الوجه
مستوى تأرجح قمة الموجة	٤,٥ %	٤,٥ %
التيار المتوسط بالموحد	(١/٣) x تيار الحمل	(١/٦) x تيار الحمل
قيمة rms لتيار الموحد	{١/ (٣½)} x تيار الحمل	{١/ (٢ x ٣½)} x تيار الحمل
أقصى جهد خروج	(٦½) x جهد الوجه	(٦½) x جهد الوجه

من الناحية الأخرى يمكننا الجمع بين مزايا قنطرة التوحيد وازدواجية الأطوار الثلاث فيعطي الشكل رقم ٧-٨ الشكل العام لدائرة كهربية كمصدر للتيار المستمر أخذا من الأوجه الستة ولكن مضافا لها قنطرة التوحيد وهو

ما سوف يحسن من خصائص التنعيم للموجة وهو ما يتم من خلال مرشحات للذبذبة العالية وذلك للحصول علي تيار مستمر بدون موجات توافقية .



الشكل رقم ٧-٨ : دائرة تيار المستمر بنقطرة التوحيد مع سداسي الأوجه

الطريقة الثانية : مجموعة المحرك / المولد Motor / Generator Set

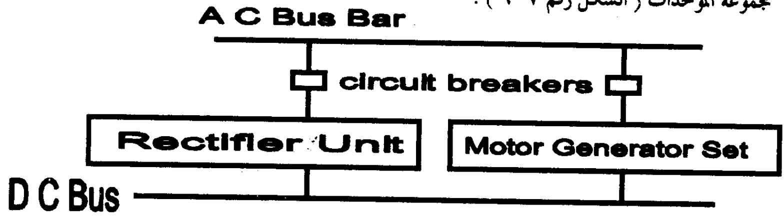
هي مجموعة مضافة إلي ما سبق كي تزيد من اعتمادية تغذية البطاريات أو زيادة عدد البدائل لها وهو محرك بالتيار المتردد يغذي مولد يعطي تيارا مستمرا ويعيب هذا أن هلا بد من تواجد مصدر تيار متردد كي يعمل ولهذا السبب ذاته تتواجد الميزة لأنه يمكن التعامل مع مولد صغير خارجي للتيار المتردد فيعطي لنا التيار المستمر الضروري خصوصا في حالات سقوط محطات التوليد الكبرى ، تتميز هذه المجموعة أيضا بما يلي :

١- رفع القدرة المتاحة علي قضبان التيار المستمر

٢- تعويض الخسارة المفقودة أو المستهلكة من البطاريات

٣- رفع قيمة القدرة المضافة أثناء الفصل التلقائي الشامل

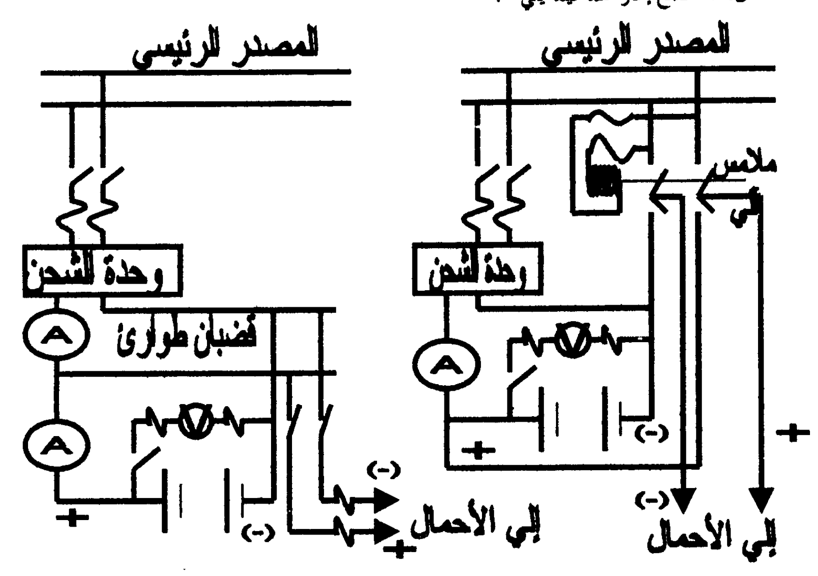
لهذا تعمل هذه المجموعة بالأسلوب الآلي مع تواجد إمكانية التعامل معها يدويا ويتم توصيلها علي التوازي مع مجموعة الموحدات (الشكل رقم ٧-٩) .



الشكل رقم ٧-٩ : أسلوب التوصيل لمجموعة محرك مولد مع وحدة التوحيد

ثالثا: أسلوب الربط بين نوعي التيار المستمر Connection Concept

طريقة الربط بين مصادر القدرة الكهربية علي الجهد المستمر تعني كيفية التوصيل بين أنواع التيار المستمر كمصدر تيار معا وهو ما نراه في الشكل رقم ٧- ١٠ حيث نجد أسلوبان للربط يمثلان محوري العمل من أجل شحن خلايا البطاريات في محطة التيار المستمر وضمان استمرارية تغذية الأحمال لها بصفة مستديمة في هذا النطاق، لهذا نضع إطارا لهما فيما يلي :



(أ) نظام النقل التلقائي من AC إلي DC (ب) نظام التحميل علي قضبان البطاريات

الشكل رقم ٧- ١٠ : نظم الربط بين مصدر التيار الرئيسي ومحطة البطاريات

١- محور التغذية السريعة Continuous D C Supply

المحور الأول يعمل آليا بين كلا من المصدر الرئيسي للتيار المتغير بعد تحويله إلي تيار مستمر مباشرة والمصدر المستقل من البطاريات(الشكل ٧-١٠ (أ))

٢- محور الشحن للبطاريات Charging System

المحور الثاني يضع قضبانا عائمة يوضع عليها الأحمال بصفة دائمة سواء كانت التغذية من المصدر الرئيسي أو المستقل (الشكل ٧-١٠ (ب)) وبذلك يتم شحن البطاريات بصفة مستمرة ودائمة ولكنه يتنوع تبعا لحالة البطاريات والتي تتأثر بكمية القدرة المستهلكة في التشغيل في وقت الاستقرار أو في أوضاع الفصل التلقائي ، وهذا الشحن نتبع معه أسلوبان هما :

(أ) أسلوب الشحن السريع Trickle Charging

يعتمد هذا الشحن علي تعويض القدرة المفقودة من خلايا البطاريات والمستهلكة في التشغيل المعتاد لشبكة الوقاية وما بها من منظومات مختلفة للوقاية كي تكون جاهزة بصفة دائمة لأي حالة فصل تلقائي علي نطاق واسع ومن ثم يكون هذا الشحن دائم التشغيل ويتم ذلك من خلال توصيل الوحدة الخاصة بهذا الشحن السريع مع البطاريات بصفة دائمة وتكون هي حلقة ربط دائمة بين محطة البطاريات والقضبان الرئيسية للجهد المتغير بالشبكة الرئيسية ، وتتميز هذه المرحلة الدائمة من الشحن بتناهي قيمة تيار الشحن والنسبة العالية في الاستقرار فيها .

(ب) أسلوب الشحن طويل المدى Charging

تعتمد هذه العملية علي مبدأين جوهريين هما :

المبدأ الأول : مبدأ ثبوت التيار Constant Current

يتغير كلا من الجهد والتيار علي أقطاب خلايا البطاريات مع كل لحظة وما دام الشرط هنا هو ثبوت التيار فيكون التيار ثابتا في فترات معينة كما هو محدد في الشكل رقم ٧- ١١ (أ) وتظهر نقطة تغير لحظة تتواكب مع النقطة الغازية gassing point في البطاريات من النوع الحمضي

المبدأ الثاني : مبدأ ثبوت الجهد Constant Voltage

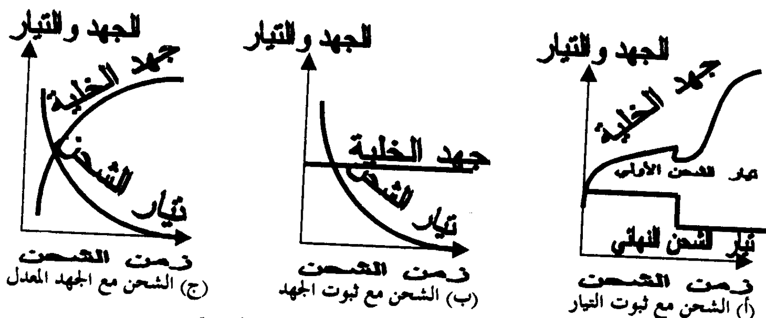
نحتاج إلي أن يكون الجهد علي طرفي البطاريات هو الثابت فقد يأخذ تغيرا من وضع إلي آخر وبالتالي ثبوت الجهد قد يتنوع إلي حالتين هما :

الحالة الأولي : حالة ثبوت الجهد

في هذه الحالة يتم وضع البطاريات بالتوصيل المباشر دون مدخلات علي التوالي أو التوازي بالدائرة وتكون مباشرة من المصدر وتغذي البطارية أو الخلية حسب الأحوال ولا يمكننا التحكم في الجهد أو التيار لعدم وجود الجزء المتغير في الدائرة (الشكل رقم ٧- ١١ (ب)) .

الحالة الثانية : حالة ثبوت الجهد مع التعديل له Modified Constant Voltage Charging

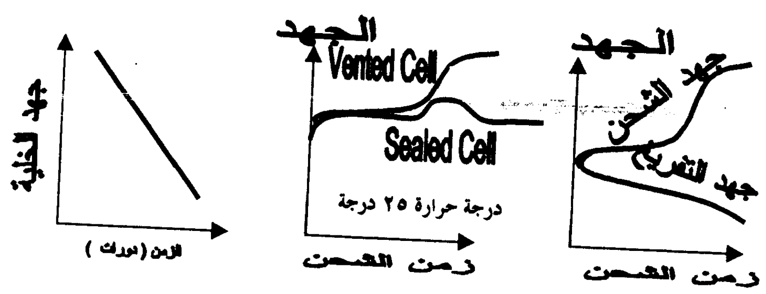
يتم هذا الأسلوب تبعا لتوصيل ملف خانق أو متغيرة في الدائرة للتحكم في أسلوب الشحن مع التعديل المطلوب تطبيقه (الشكل رقم ٧- ١١ (ج))



(أ) الشحن مع ثبوت التيار (ب) الشحن مع ثبوت الجهد (ج) الشحن مع الجهد المعدل

الشكل رقم ٧-١١ : شحن البطاريات الحمضية

يعطي الشكل رقم ٧-١٢ أيضا تأرجح الجهد أثناء الشحن لنوعي الخلايا المبين حيث يكون لجهد الشحن تصرفا مغايرا له أثناء التفريغ وهو ما يجب أن يوضع في الاعتبار عند الاختيار لتغطية أقصى قدرات مطلوبة في أسوأ حالات الحمل الطارئ ويلزم التنويه عن أن درجة حرارة الهواء المحيط ذات علاقة مباشرة بهذا التغير مما يضع في الاعتبار محاولة وضع الخلايا في موقع مكيف الهواء ، وعلي الجانب الآخر نري أشباه الموصلات كصفات متعلقة بالجهد واستخدامها كموحد كما في الشكل رقم ٧-١٣ والمحدد لخلية من السليكون .



(أ) جهد الشحن لخلايا نيكل كاديوم (ب) الشحن لنوعي ثمن الخلايا

الشكل رقم ٧-١٢ : شحن بطاريات النيكل كاديوم

الشكل رقم ٧- ١٣: منحنى تغير الجهد لخلية سليكون

٧-٣ . وقاية شبكة الوقاية Protection of Gear

شبكة الوقاية protective gear تحتل مكان الأمانة علي روح الشبكة الكهربية الرئيسية main network وهي أيضا معرضة للمخاطر والعيوب الخارجية أو التشغيل أو أحيانا التصميم أيضا وبالتالي تحتاج هذه الدوائر إلي العناية والاهتمام الذي نتعرض له بإيجاز في السطور القادمة .

أولا : وقاية البطاريات Battery Protection

تعتبر البطاريات من أهم أجزاء شبكة الوقاية حيث أنه المصدر الجوهري لتغذية دوائر الوقاية بمختلف أنواع المنظومات التي تحصل علي قدرتها من هذه البطاريات وهي التي قد تتعرض إلي الأخطاء المحددة فيما بعد .

١- الأخطاء والعيوب Faults

تتنوع هذه الأخطاء البطاريات إلي أخطاء متنوعة مثل :

(أ) العيوب الداخلية Internal

هي تلك العيوب التي قد تنتج عن عيب في ألواح الخلايا الداخلية أو في التركيب الكيميائي أو تغيير في الخواص الكهربية داخليا وهي عيوب جوهرية قد تحتاج إلي التغيير لهذا الجزء المعيب وهي عيوب كيميائية بجانب تلك العيوب الخاصة بكسر العازل الكهربي بين الأقطاب أو الألواح وهي ما يجب معالجتها هندسيا بالأسلوب السليم حفاظا علي هذه البطاريات كي تعمل بصفة دائمة دون إلحاق ضرر بدوائر الوقاية المرفقة بها ، ومن هنا تأتي أهمية أسلوب توزيع البطاريات بين القضبان الموجبة والسالبة كي ترفع الكفاءة من جهة وتزيد من الاعتمادية من الأخرى ويبين الشكل رقم ٧- ١٤ التوزيع المتبع في توصيل البطاريات داخل محطة البطاريات .

(-) (+)

الشكل رقم ٧- ١٤ : توصيل خلايا البطاريات

(ب) الأخطاء الخارجية External

تنحصر الأخطاء الخارجية هنا في قطع أحد الأقطاب أو وجود قصر كهربي علي خروج البطاريات أو أي منها وهو ما يمثل أقصى درجات الخطورة لأنها تقطع التيار المغذي للوقاية علي وجه العموم ولهذا توضع درجات الاستعداد القصوى تحسبا لأي قصر في الشبكة الكهربية الرئيسية .

٢- مستويات الوقاية Level of Protection

مستويات الوقاية لحماية البطاريات ككل أو لكل خلية علي حدة يمكن توزيعه علي مرحلتين هما :

(أ) الحدود الدنيا Minimum

يعتبر المصهر أول أنواع الوقاية للبطاريات ضد أي قصر خارجي وبالتالي تحمى البطارية من مرور أعلي من المقنن ويخرجها عن التشغيل أو التغذية للحمل .

(ب) الوقاية الأساسية Basic

تشتمل الوقاية الأساسية للبطاريات علي المصهر أيضا بجانب حماية ضد زيادة الحمل وضد الارتفاع الحراري ويمثل المصهر الوقاية ضد زيادة التيار وقد يستخدم أيضا لوقاية زيادة الحمل وهي وقاية غير مكلفة وبسيطة .

ثانيا : وقاية الموحدات Rectifier Protection

تعتبر الموحدات والتي عادة تصنع من السليكون من أهم الأجزاء التي تحتاج إلي الرعاية والوقاية ضد الأخطار ولذلك نضع الحديث عنها في نقاط مبسطة كما يلي :

١- الأخطاء والعيوب Faults

تتعرض الموحدات إلي عدد من الأخطاء نبينها في النوعين القادمين بعد :

(أ) العيوب الداخلية Internal

تتنوع العيوب في الموحدات من فشل وسائل التبريد لأن الخصائص الحرارية لها هامة للغاية وكذلك إذا عجز الموحد عن الصمود للجهد العكسي inverse voltage كما قد يحدث العيب من العزل الكهربي لمنطقة الوصل الكهربي junction داخل الموحد ، ومن الممكن أن يزيد التيار عن فتح الموحد أمام الجهد عن القيمة المقننة فيحتاج إلي وقاية لمنع هذه الزيادة من الحدوث .

(ب) الأخطاء الخارجية External

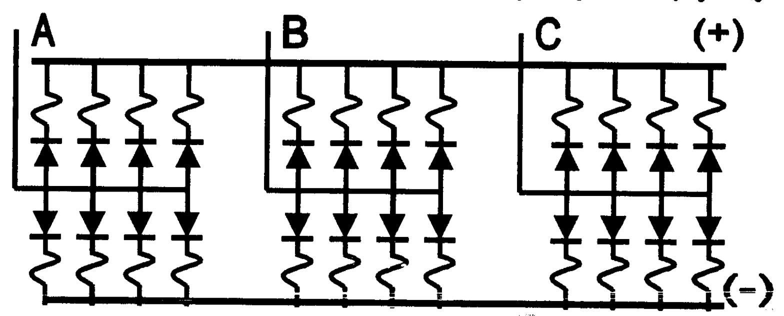
تتباين الأخطاء الخارجية من تحميل فوق الطاقة الممكنة أو زيادة تيار نتيجة لقصر مباشر علي الدخول إلي الموحدات أو في دائرة التيار المستمر بعد الخروج من الموحدات وكلها أخطاء لها احتمالات عالية يجب وضعها في الاعتبار عند التعامل مع تصميم الوقاية للموحدات بشكل عام .

٢- مستويات الوقاية Level of Protection

ننتقل إلي مستويات الوقاية اللازمة أو تلك الممكنة للتعامل مع الموحدات وهي :

(أ) الحدود الدنيا Minimum

نبدأ بأول الأساسيات البسيطة وهي توصيل مصهر مع كل موحد لحمايته من زيادة التيار وهو ما يظهر من الشكل رقم ٧- ١٥ والذي فيه يظهر نظام التوحيد المعتمد علي تعدد قنطرة التوحيد ثلاثية الوجه للحصول علي مقنن تيار عالي في جهة التيار المستمر ويظهر مصهر مع كل وحدة سليكون والجهاز رباعي القناطر ويمكن زيادتها لمواجهة الحاجة لتيارات أكبر .



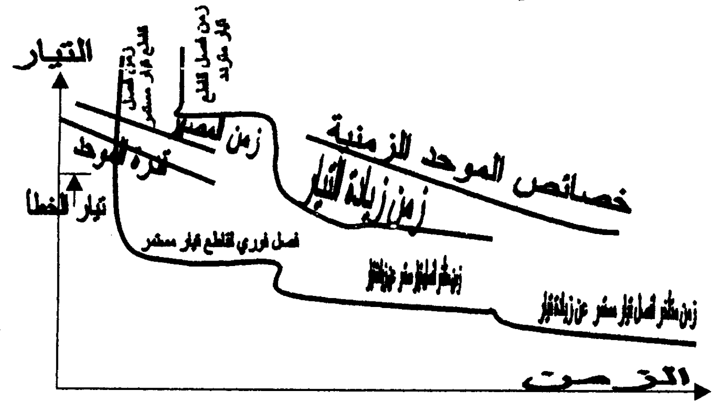
الشكل رقم ٧- ١٥ : دائرة تيار مستمر متعددة القناطر (رباعية) ثلاثية الوجه

(ب) الوقاية الأساسية Basic

تمثل الوقاية الأساسية تلك المطلوبة لتغطية كافة أنواع الأعطال وهي تتضمن وقاية زيادة الحمل ووقاية زيادة التيار ووقاية إخماد التيار عند الزيادة التلقائية لفتح بوابة الموحد مع الجهد وقد يضاف أيضا التأخير الزمني للفصل مع زيادة التيار لحماية الموحد وقد يستعان بالمصهر سريع الفصل للمستويات متوسطة القدرة من

الموحدات . وفي بعض الحالات تحتاج إلي وقاية لزيادة في الجهد العكسي حماية للموحد ويظهر من الشكل رقم ٧–١٥ أنه إذا ما فقد موحد صفاته وأصبح موصلا فسوف يسري التيار من وجه وينتقل إلي الآخر مسببا عدم اتزان في المغذي ثلاثي الطور وبالتالي زيادة في التيار للموحدات ككل .

من الناحية الأخرى يلزم التنسيق بين المصهر والقاطع في أي من دوائر الموحدات فمثلا للدائرة المعطاة في الشكل رقم ٧–٧ (أ) يجب وضع التنسيق بين القاطع والمصهر تبعا للخصائص الواردة في الشكل رقم ٧–١٦ وتبين التداخل بين جهة التيار المستمر مع تلك للتيار المتردد .



الشكل رقم ٧–١٦ : خصائص التنسيق والفصل للدائرة الموضحة بالشكل رقم ٧– ٧ (أ)

(ج) الوقاية القصوى Maximum

نظرا لخطورة الجهد وارتفاعه علي الموحد وحيث أنه يتعرض لزيادة الجهد overvoltages إما خارجيا من خلال الصواعق surge أو داخليا من خلال عمليات الفشل والتوصيل في الدوائر المختلفة فتظهر جهود عالية خطرة وخصوصا لها صفة معدل ارتفاع مقدمة الموجة عاليا rise of front وهو ما قد ينتج عن دائرة التيار المستمر أو المتردد أو من حالة عدم اتزان بقيمة انحراف عالية وذلك يؤدي إلي كسر الوصلة الكهربية داخل شبه الموصل junction ويختفي تبعا لذلك الجهد الصامد inverse voltage في الاتجاه العكسي ويكون بذلك قد فقد الموحد خصائصه ولهذا يستخدم معها وقاية بجهاز إخماد موجات الصاعقة وذلك بالرغم من تحمل بعض الدوائر الإلكترونية لهذه الجهود ولكن لفترات قصيرة جدا مثل الثيريستور والسيلينيوم فدائما تتجه التصميمات لمعامل أمان قدرة ٢ أو ٢,٥ لرفع قيمة المقننات عند وضع حماية الجهد لها .

ثالثا : وقاية دوائر الوقاية Protection of Static Elements

من مبادئ العمل مع دوائر التيار الثانوي لمحولات التيار لا يجوز استخدام قاطع للتيار سواء قاطع أو مصهر كي لا تقطع الدائرة مهما كانت الأخطاء المتعرضة لها ولذلك يتم إدخال المحولات المساعدة في أغلب الأحيان لتساعد علي غلق دائرة محول التيار تماما وإبعادها عن المصهر ووسائل الحماية بينما تتم حماية محولات الجهد بالمصهر في الجهتين العالية والمنخفضة في الجهد ، أما عن العيوب والتغلب عليها فسوف نلمس جزءا هاما منها في البنود الآتية من خلال هذا الفصل ..

١- الأخطاء والعيوب Faults

حيث أن الدوائر الرقمية والمنطقية والمتكاملة قد ظهرت في مجال التطبيقات منذ عدة عقود ودخلت كلها معا أو منفردة في دوائر الوقاية العاملة بالشبكات الكهربية وحيث أن هذه النوعية من الدوائر ومكوناتها التي تشمل الموحدات (سيليكون - وسيليكون محكومة - سيلينيوم) وترانزيستور والثايريستور والميكرو بروسيسور كما ظهرت المتممات الإلكترونية والقواطع الإلكترونية . بالنسبة للعيوب الداخلية **Internal** نجد أن كلها تعتمد أساسا علي نقطة العمل الخاصة بها ولذلك فهي تتأثر بدرجة كبيرة بدرجة الحرارة وتغير من كفاءة الأداء في كل أشباه الموصلات أما الأخطاء الخارجية فكلها مثل تلك التي سبق الحديث عنها في بند الموحدات ومن ثم تحتاج إلي الوقاية المثيلة لتلك السابقة ولكن مع شيء من الإضافة والتحديد لنوعيتها

٢- أنواع الوقاية Types of Protection

تأخذ أنواع الوقاية هنا ما يخص الدوائر الإلكترونية عموما لأنها تدخل في مكونات الدوائر سواء كانت بالمتممات الساكنة أو حتى تلك الكهروديناميكية أومغناطيسية ولذلك فهي تحتاج إلي التحديد التالي .

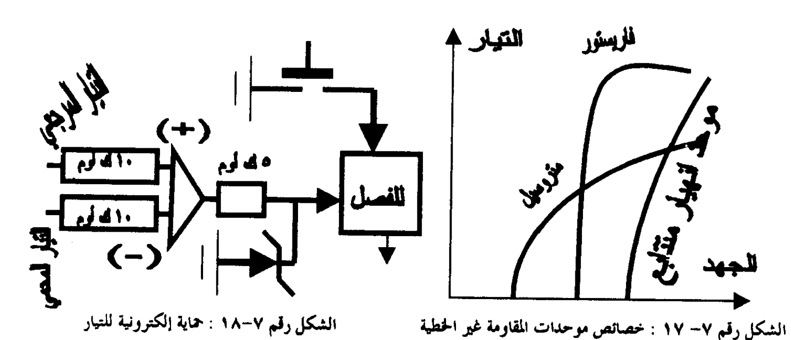
(أ) الوقاية ضد زيادة الجهد Over Voltage Rise

يمكن أن تعمل أجزاء الحماية هذه إما علي التوالي أو علي التوازي تبعا للمقنن وأسلوب العمل وهي تتباين من حيث النوعية والمسمى فأهمها هو

١- المقاومة غير الخطية : وهي عبارة عن مقاومة غير خطية بحيث عند ارتفاع الجهد عند قيمة مرجعية محددة تنهار قيمة المقاومة وتصل لي الصفر وبذلك تمنع الجهد من الارتفاع عن هذه القيمة في أي وضع تشغيل وهذه المقاومة تشمل بعض الأنواع منها مقاومة كربيد السيليكون والمعروفة باسم المتروسيل (**metrosil**) ولكنها غير مستخدمة علي نطاق لأنها معيبة بزيادة الجهد إلي الضعف في حالة فرق الجهد المفاجئ واسع بينما نوع

المقاومة الفاريستور (varistor) وهو جديد وله خصائص أفضل وتدخل مادة أكسيد الزنك كمادة فاعلة فيه فتنخفض الجهد بدخول مسار مواري للتيار لحظيا.

٢- موحدات الانهيار المتتابع (Silicon Avalanche Diodes) وهي من السليكون وتعمل في الربع الثالث ولا تتلف من ارتفاع الجهد لأنها قادرة علي امتصاص الطاقة بسهولة في التيارات العالية بسبب انخفاض مقاومتها العكسي ويعطي الشكل رقم ٧- ١٧ صفات النوعيتين من الموحدات .



الشكل رقم ٧- ١٧ : خصائص موحدات المقاومة غير الخطية

الشكل رقم ٧-١٨ : حماية إلكترونية للتيار

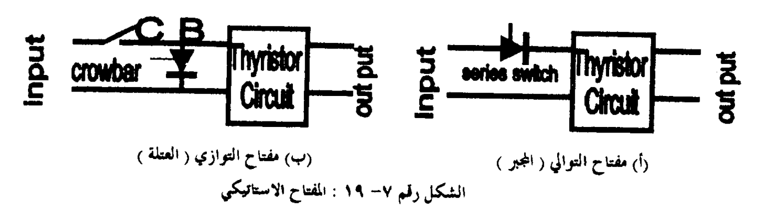
٣- موحدات ضد زيادة الجهد الأمامي Front Wave of Voltage

منها أنواع مختلفة فمنها موحد الهيار تجاوز break over diode وهو يعمل في الربع الأول أ وموحد الزينر Zener Diode الذي يعمل في الربع الثالث لامتصاص الجهد الزائد عندما يرتفع معدل واجهته الأمامية ومن هذه النوعية ذلك الموحد الواقي من زيادة الجهد العكسي .

(ب) وقاية زيادة التيار Over Current

نتعامل مع المصهر بشكل أساسي ولكنّ نوعية المصهر هنا تختلف عن مصهر القوى ويجب أن يكون من الطراز سريع الفصل ومدته أقل من ١٠ ملي ثانية ولذلك فهذه النوعية من المصهر يوضع عليها علامة لتحدد أنها تخص أشباه الموصلات ويعتمد أيضا علي أنواع قطع الدائرة الكهربية وهي التي تعمل بدون ملفات مغناطيسية لأنها تعمل علي أسلوب الوصل بين الموصلات ـــ ويوجد أيضا أنواعا من الحماية الإلكترونية باستخدام كاشف تيار فتفصل التيار بدائرة بوابة عند عبور القيمة المرجعية فيتوقف التيار عن المرور في الثايريستور ولكن هذا يستهلك وقت الدورة الذبذبية حتى لحظة المرور الصفري (الشكل رقم ٧- ١٨) . ويوجد أيضا نوع الوقاية والمسماة المفتاح الاستاتيكي Static Switch ومنه نوعان الأول مفتاح التوالي (الشكل رقم ٧- ١٩ (أ)) وهو

ثيروستور علي التوالي في الدائرة ويقوم بفصل التيار إذا تجاوز التيار القيمة المرجعية بأسلوب الإخماد الجبري forced commutation للثايريستور ويلزم توصيل مصهر لحماية الثايريستور إذا ما فشل في أداء المهمة والثاني مفتاح التوازي والمسمى العتلة (crowbar) وهو ثايريستور كبير كما في الشكل رقم ٧- ١٩(ب) . ويضاف مع هذا الوقاية ضد معدل ارتفاع التيار حيث كثافة التيار بالقرب من البوابة تصل إلي قيمة مرتفعة قد تصل بالانصهار الجزئي في السليكون مما يزيد من التيار المار إلي الثيرستور فيرفع من درجة حرارته وهو ما سيؤول إلي الانهيار في الخصائص كما يمكن الاعتماد علي إشارات تيار إشعال قوية في دائرة البوابة مما يساعد فعلا في تحسن معدل الارتفاع للتيار .

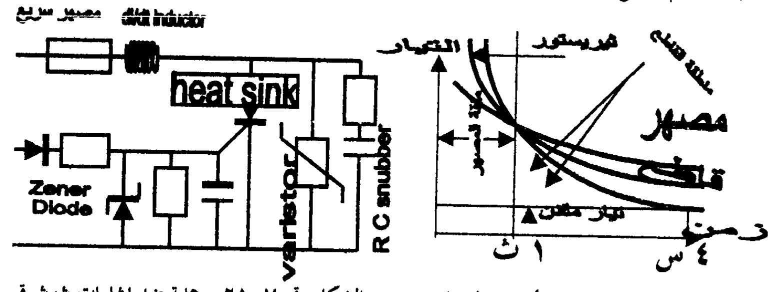


(ب) مفتاح التوازي (العتلة)　　　　(أ) مفتاح التوالي (المجبر)

الشكل رقم ٧- ١٩ : المفتاح الاستاتيكي

(ج) وقاية زيادة الحمل Over Load

تعتبر هذه الوقاية من أهم أنواع الوقاية خصوصا وأن النبائط وكل أشباه الموصلات تتأثر بشكل مباشر بزيادة درجة الحرارة عن النطاق المحدد للتشغيل ويبين الشكل رقم ٧- ٢٠ الفروق الأساسية في التعامل مع القاطع والمصهر والثيريستور في حماية الدوائر الإلكترونية ومن ثم يظهر مجال عمل المصهر في البداية (٠,٠١ — ١ ثانية) بجلاء ثم القاطع (١ ثانية — ٤ ساعات) ويقترب بذلك من خصائص الثيريستور .



الشكل رقم ٧-٢١ : حماية ضد إشارات شوشرة　　　　الشكل رقم ٧-٢٠ : خصائص أدوات الفصل

(د) وقاية ضد إشارات التداخل Noise Signal Protection

تعمل هذه الوقاية علي نقاء الموجات تحت القياس والقيمة المرجعية ومنع أي تداخل في الإشارات معها ولذلك نري في الشكل رقم ٧-٢١ الدائرة الأساسية لمفهوم الوقاية من الإشارات لدائرة الثيريستور وهو من أهم الأجزاء في دوائر الوقاية بالدوائر الرقمية والاستاتيكية لأنت زيادة مستوى إشارات الشوشرة في الثيريستور يقود إلي الخلل في نتائج العمل فيعطي خطأ أكبر في الناتج .

(هـــ) وقاية ضد ارتفاع درجة الحرارة Temperature Rise

من أفضل السبل لوقاية الدوائر الإلكترونية تظهر الوقاية الحرارية بدرجة الحرارة لأن أشباه الموصلات تعتمد علي النقل الدائم للحرارة إلي الأجزاء المتجاورة والمتلامسة أي تسرب الحرارة Heat Sink وقد يتم ذلك بمسار حراري واحد أو أكثر حسب القدرات أو أن يصبح التبريد سطحيا وهو الأكثر شيوعا في التطبيقات لرخص ثمنه وأحيانا يستعان بوسط مثل الزيت أو غيره لنقل الحرارة أو بالتبريد الجبري باستخدام المراوح .

REFERENCE المراجع

أحمد ضياء القشيري : أشباه الموصلات في دوائر القوى الإلكترونية – مجلة الكهرباء العربية ١٩٨٧ (٧) .

أحمد ضياء القشيري : تطبيقات الثايريستور في العمليات الصناعية – مجلة الكهرباء العربية ١٩٨٨ (١٣) .

أحمد ضياء القشيري : نظم الحماية في دوائر الثايريستور – مجلة الكهرباء العربية ١٩٨٧ (٩) .

آسر زكي ، عبد المنعم موسى : حماية منظومات توزيع القوى الكهربية

المرحلة التفاضلية للوقاية من التسرب الأرضي – دراسة – مجلة الكهرباء العربية – ١٩٩٩(٥١)

عبد المنعم موسى : تأريض الشبكات الصناعية والتجارية – مجلة الكهرباء العربية – ١٩٩٩(٤٩)

علاء رشوان : السلامة الكهربية في المصانع – مجلة الكهرباء العربية – ١٩٩٩(٥٥)

كاميليا يوسف محمد : الوقاية في الشبكات الكهربائية – ١٩٩٦

مجلة الكهرباء العربية – العدد ٥١

محمد خضير : الموسوعة الكهربية وهندسة الحمايات الكهربية .

محمد حامد : التركيبات الكهربية – الهيئة العامة للأبنية التعليمية – القاهرة – ١٩٩٨ .

J. Lewis Blackburn: Protective Relaying – Principle & Application, Book.
D. W. Borst & F. W. Parrish : Voltage Control By Means Of Power Thyristors.
N. Chernobrovov: Protection Relaying, Mir, Moscow, 1974.
Electrical Apparatus for explosive gas atmosphere with type of protection n , DIN VDE 0165/VDE 0170?0171 section 16/05.98
T S Madhava Rao : Power System Protection. Static Relays. TATA McGraw Hill – New Delhi, 1989.
Abdalla Moselhy : Integrated Circuits, Zagazig, Egypt, 1999
L. E. Nickels : Power Control & Conversion.
K. R. Padiyar: HVDC Power Transmission Systems Technokogy & System Interactions, Wiley Eastern Limited, 1990.
Sunil S. Rao: Switch Gear & Protection, 1992
B. Ravindranath, M. Chander: Power System Protection & Switch Gear, 1989.
M. G. Say: Alternating Current Machines.
Robert W Smeaton : Switchgear & Control Hand Book.
Helmut Ugarad, Wilibald Winker, Andrzej Wiszniewski: Protection Techniques in Electrical Energy Systems.
User Manual & Technical Description: ABB Network. Part new.